

FERNANDA HENDERIKX FREITAS

**FONTES E VARIABILIDADE DA TURBIDEZ COSTEIRA:
O SENSOR MODIS COMO FERRAMENTA**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Oceanografia da UFPR, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador:
Prof. Dr. Mauricio A. Noernberg

**Pontal do Paraná
2007**

*“Satellite in my eyes
Like a diamond in the sky
How I wonder.
Satellite strung from the moon
And the world your balloon
Peeping tom for the mother station
Winter's cold spring erases
And the calm away by the storm is chasing
Everything good needs replacing
Look up, look down all around, hey satellite*

*Satellite, headlines read
Someone's secrets you've seen
Eyes and ears have been
Satellite dish in my yard
Tell me more, tell me more
Who's the king of your satellite castle?*

*Winter's cold spring erases
And the calm away by the storm is chasing
Everything good needs replacing
Look up, look down all around, hey satellite
Rest high above the clouds no restrictions
Television we bounce 'round the world
And while I spend these hours
Five senses reeling,
I laugh about the weatherman's satellite eyes.*

*Satellite in my eyes
Like a diamond in the sky
How I wonder.
Satellite strung from the moon
And the world your balloon
Peeping tom for the mother station*

*Winter's cold spring erases
And the calm away by the storm is chasing
Everything good needs replacing
Look up, look down all around, hey satellite*

*Rest high above the clouds no restrictions
Television you bounce from the world
And while I spend these hours
Five senses reeling
I laugh about this world in my satellite eyes.”*

Satellite – Dave Matthews Band

A TODOS OS QUE FIZERAM PARTE DESSA ETAPA DA MINHA VIDA...

Gostaria de agradecer a tanta gente!

Pelo apoio durante o curso, pelas orientações durante a monografia, pelo carinho nos finais de semana e pelas risadas nas horas de folga! Pelas descobertas compartilhadas, pelas dúvidas esclarecidas, pelos sonhos concretizados, pela companhia sem preço!

Primeiro, agradeço à meus pais...vocês são simplesmente tudo pra mim, obrigada pelo exemplo, pela dedicação, apoio, carinho, conversas e puxões de orelha!

Ao Prof. Mauricio Noernberg, obrigada pela oportunidade no início do curso, pela confiança, paciência e dedicação! Fez com que eu me apaixonasse ainda mais pela oceanografia!

Ao Prof. Paulo Lana, pelo apoio e exemplo!

Ao Prof. e coordenador Maurício Camargo, pelas horas “gastas” assinando papéis, escrevendo cartas e resolvendo as mais diversas providências de última hora, sempre no melhor humor!

Ao Joaquim e ao Wilian pelo incentivo e por me apresentarem o Matlab! Nunca conheci pessoas tão generosas como vocês, dispostos a ficarem hooooras batendo na mesma tecla sem receber nada em troca!! ;-)

E você, Quim, obrigada também pelas muitas conversas, pela companhia no laboratório, pelas saídas no Soloncy e pelas idéias empolgantes!

Ao Grupo de Física Marinha, sempre divertindo e apoiando...Lica, Larissa, Rangel, obrigada pelas conversas! Ao Prof. Marone, pelas visitas recorrentes! Ao Eduardo, pela ajuda no processamento das imagens e à Camila, pela curiosidade e prontidão!

Ao pessoal da MARIS...quanta coisa boa construímos e aprendemos! Época de escolhas únicas e aprendizado pra vida inteira...Lizi, sabe o que isso significa para o nosso futuro, não?!

Turma querida...que bom que caímos todos na mesma sala, como sempre dizemos! Aulas animadas, grupos concentrados, briguinhas, conversas, bilhetes, sinais, sorrisos, choros e muuuuuitas saudades! Esses cinco anos valeram muito à pena! E essa grande família inclui: Alessandro, Ale, Aline, Ana, Cássio, Cathy, Chay, Dê, Fran, Flávio, Gaby, Gian, Ju, Lizi, Linus, Lincoln, Leo, Lua, Marcelo, Má, Marina, Paula, Paloma, Ricardo, Sérgio, Tiago e Wagner.

Às figurinhas especiais que fizeram toda a diferença esses cinco anos: Lizi, Gaby, Chay, Marcela, Ju e Marina...descobertas, presença, viagens, passeios, caminhadas, cantorias, olhares, apoio, conselhos, conversas, fofocas...momentos inesquecíveis com cada uma de vocês! Obrigada por tudo e até muito breve!

Ao pessoalzinho de Curitiba, por entenderem meu sumiço em algumas ocasiões! Obrigada pelo companheirismo de sempre e amizade de anos!

E, muito especial mesmo, obrigada Deus e Dudu...por todos esses momentos!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS	v
RESUMO.....	vi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Abordagem Geral	4
1.1.1 O Sensor MODIS-Aqua	4
1.1.2 Os sólidos em suspensão x espectro eletromagnético	5
1.2 Objetivos	7
2. MÉTODOS	8
2.1 Área de estudos	8
2.2 Seleção das imagens	11
2.3 Pedido e aquisição das imagens.....	11
2.4 Processamento das imagens	12
2.5 Análise das imagens	14
2.6 Definição dos limites das plumas	14
2.7 Dados Meteorológicos.....	15
2.8 Espectros de potência – Transformada Rápida de Fourier.....	16
2.9 Integração dos dados.....	16
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
3.1 Correlação entre eventos meteorológicos e a variação da turbidez nas zonas costeiras	19
3.2 Análise da variabilidade dos eventos meteorológicos.....	23
3.3 Variabilidade geral da turbidez em curta escala de tempo	29
3.4 Variabilidade geral da turbidez ao longo dos anos	29
3.5 Observações de meso-escala.....	30
3.5.1 Estiagens.....	31
3.5.2 Épocas chuvosas	31
3.5.3 Intrusão da Corrente Costeira	34
3.6 Interação de processos: corrente costeira e descargas fluviais.....	39
3.7 Variabilidade da turbidez em escala regional.....	41
3.7.1 Rio Itajaí	41
3.7.2 Proximidades do Rio Tijucas e a Ilha de Florianópolis.....	46

3.7.3 Desembocadura da Baía e Paranaguá	49
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
5. REFERÊNCIAS	55
ANEXO I.....	61
ANEXO II.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudo. Os pontos em vermelho indicam as áreas citadas ao longo do trabalho, referentes à localização de rios, estações meteorológicas e municípios. (Modelo de Elevação do Terreno - <i>Shuttle Radar Topography Mission - SRTM</i>).	8
Figura 2. Batimetria da área de estudo	9
Figura 3. Imagem em projeção cilíndrica (original), com a disposição dos transectos para a retirada das informações de nL_w 555 (imagem MODIS de 30/08/04).	13
Figura 4. Padrão de distribuição de nL_w 555 ao longo dos 200 km amostrados através dos 7 transectos.	18
Figura 5. Série temporal dos dados de precipitação (A) e ventos (B) para Pontal do Sul, de 2004 a 2006.	23
Figura 6. Espectro de potência da precipitação (a) e intensidade dos ventos (b) para a região de Pontal do Sul, de 2004 a 2006. Linha azul vertical: Intervalo de confiança de 0.95.	24
Figura 7. Série de precipitação e intensidade dos ventos bruta e filtrada para Pontal do Sul.	25
Figura 8. Série de precipitação e intensidade dos ventos bruta e filtrada para Imbituba.....	26
Figura 9. Espectro de potência dos dados filtrados para a série de precipitação e intensidade dos ventos para Pontal do Sul entre 2005 e 2006. Linha vertical: Intervalo de confiança de 0.95.	26
Figura 10. Espectro de potência dos dados filtrados para a série de precipitação e intensidade dos ventos para Imbituba entre 2005 e 2006. Linha vertical: Intervalo de confiança de 0.95.	27
Figura 11. Variabilidade da turbidez costeira em um intervalo de 20 dias. Ano: 2004. Paleta de cores: níveis de cinza.....	29
Figura 12. Imagens da mesma data, em anos diferentes, exemplificando sinais e fontes distintas de turbidez (30 de julho de 2005 e 2006). Paleta de cores: nL_w	30
Figura 13. Turbidez para Baía de Paranaguá em período de seca, nos 3 anos.....	32
Figura 14. Turbidez para a desembocadura do Rio Itajaí em período de seca, nos 3 anos.....	32
Figura 15. Turbidez para Baía de Paranaguá em período chuvoso, nos 3 anos.	32
Figura 16. Turbidez para a desembocadura do Rio Itajaí em período chuvoso, nos 3 anos.....	32
Figura 17. Fertilização pelo Rio da Prata observada no transecto da Baía de Paranaguá, dias 233, 234 e 237 de 2006.	32

Figura 18. Fertilização pelo Rio da Prata observada no transecto de Laguna, dias 233, 234 e 237 de 2006.	32
Figura 19. Imagens com os valores de nL_{w555} mais baixos para o período estudado, coincidente com épocas secas (exceção imagem do dia 051).	33
Figura 20. Imagens com altos níveis de nL_{w555} após registro de chuva forte na região. ...	33
Figura 21. Imagem MODIS-Aqua de temperatura da superfície do mar (dia 213/2006)	34
Figura 22. Seqüência de imagens representando a evolução da fertilização sazonal pelas águas do sul do Brasil (Período: Agosto de 2006)	36
Figura 23. Aproximação do aporte do Rio da Prata no dia 211 (30 de julho de 2006).	37
Figura 24. Fertilização da costa no dia 246	38
Figura 25. Fertilização da costa no dia 255	38
Figura 26. Propagação da Corrente das Malvinas e fertilização entre os dias 10 e 12 de agosto de 2005 (223 a 225).	40
Figura 27. Distribuição de nL_{w555} em 2005 para os transectos Cananéia (A), Paranaguá (B), São Francisco do Sul (C) e Rio Itapocu (D). Observar a condição de fertilização na região, destacada nos altos níveis de nL_{w555} das datas 223, 224 e 225.....	40
Figura 28. Variabilidade da cor do mar na região de Itajaí.	42
Figura 29. (2004/149). Perceber os tons amarronzados, característicos de materiais terrígenos, deixando os rios e incorporando o padrão de circulação local. Imagens MODIS composição colorida (RGB) 250m.....	43
Figura 30. (2005/245). Perceber os tons amarronzados, característicos de materiais terrígenos, deixando os rios e incorporando o padrão de circulação local. Imagens MODIS composição colorida (RGB) 250m.....	43
Figura 31. “Quick Look” MODIS Aqua do dia 83 (23/03/04)	44
Figura 32. Complexidade ótica e feições ligadas ao aprisionamento de sólidos em suspensão entre o norte de Florianópolis, Ilha do Arvoredo e Tijucas. Paleta de cores SeaDAS: NDVI.	47
Figura 33. Pluma do Rio Tijucas no dia 193	48
Figura 34. Pluma do Rio Tijucas no dia 195	48
Figura 35. Variabilidade da turbidez na desembocadura da Baía de Paranaguá.....	49
Figura 36. Intensidade e direção dos ventos em Pontal do Sul, de 2004 a 2006.	51
Figura 37. Intensidade e direção dos ventos na Ilha do Arvoredo, de 2004 a 2006.	51
Figura 38. Intensidade e direção dos ventos em Itajaí de janeiro/2004 a julho/2005.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das bandas do sensor MODIS organizadas conforme a distribuição no espectro eletromagnético.	5
Tabela 2. Dados meteorológicos disponíveis para a área de estudo.	15
Tabela 3. Resumo das matrizes de correlação (R^2 ; $\alpha=0.05$) entre os dados disponíveis e a intensidade de nL_w555 . Maior atenção foi dada aos valores destacados em azul por apresentarem alta significância.	20
Tabela 4. Dados de precipitação para as imagens representando períodos de seca e chuva.....	30
Tabela 5. Dados de precipitação para Itajaí no período anterior a aquisição das imagens.....	41
Tabela 6. Dados de precipitação para Pontal do Sul no período anterior a aquisição das imagens.....	49

RESUMO

A radiância emergente normalizada no comprimento de onda de 555 nm (nL_{w555}), um dos produtos das imagens geradas pelo sensor MODIS-Aqua, foi utilizada na representação da turbidez costeira entre o sul do estado de São Paulo e o estado de Santa Catarina. Com o objetivo de identificar os processos causadores da turbidez e entender sua dinâmica na costa, fez-se, além da análise visual, a integração dos níveis de nL_{w555} retirados de sete transectos localizados nas desembocaduras dos principais rios e estuários da área de estudo com dados de precipitação e ventos adquiridos de estações meteorológicas costeiras. A análise das informações obtidas através dos transectos permitiu caracterizar a complexidade ótica da região estudada e, com a observação das imagens e dados meteorológicos, atribuí-la às variabilidades temporais e espaciais. Dos aspectos observados, destacam-se: altos níveis de nL_{w555} nos primeiros quilômetros de toda a costa, relacionados a proximidade dos aportes fluviais e às baixas profundidades, as quais podem proporcionar tanto o confinamento dos sólidos suspensos quanto a reflexão do fundo; aumento do nível de turbidez em períodos chuvosos, como esperado, embora pareça não haver uma correlação linear entre a quantidade de chuvas e a turbidez gerada; diferenciação entre os processos dominantes ao longo da área, sendo a turbidez nas áreas estuarinas preferencialmente atribuída a processos de dispersão e ressuspensão, apresentando valores menos intensos se comparada a turbidez da desembocadura dos rios, com gradientes mais definidos e de rápida dissipação; e influência da configuração da linha de costa e o tipo de relevo na persistência dos sinais de turbidez, bem como nos processos de mistura e dissipação quando associada a incidência de ventos mais fortes. Durante o outono e inverno, foi identificada a presença de águas com elevados índices de nL_{w555} , resultado do transporte dos deságües do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos pela Corrente das Malvinas, conferindo grande complexidade ótica e hidrográfica à região, com a distinção de diversos processos e feições oceanográficas. No que se refere a observação da coloração do oceano, o sensor MODIS e a nL_{w555} apresentam elevado potencial, sendo uma alternativa viável para o entendimento da complexidade e da variabilidade temporal e espacial dos processos vigentes na zona costeira.

1. INTRODUÇÃO

As águas costeiras, através de intensos fluxos biogeoquímicos, representam um dos ecossistemas mais produtivos da Terra, e vêm sofrendo mudanças desfavoráveis a sustentabilidade da vida ao longo da história (OLD, 2006; SALISBURY *et al.*, 2001; FORGET & OUIILLON, 1998). Entre outros agravantes, SALISBURY *et al.* (2001) sugerem que esta realidade pode estar relacionada à quantidade de materiais que são transportados da terra para o oceano, como agrotóxicos, poluentes e despejos sanitários, caracterizando mudanças nas características óticas e ambientais da água.

A concentração dos sólidos em suspensão na água é de considerável relevância ecológica, na medida em que pode impedir a ação da luz na coluna d'água e contribuir com a variação dos níveis de demanda de oxigênio (WASHBURN *et al.*, 2003). Além disso, os rios e o escoamento de água da chuva podem introduzir uma variedade de toxinas aos corpos adjacentes, os quais são agregados às partículas suspensas, o que aumenta seus tempos de residência ao serem continuamente depositados, suspensos e transportados (HOSSAIN *et al.*, 2001). A ressuspensão próxima a regiões portuárias, por exemplo, pode significar o desprendimento de materiais tóxicos adsorvidos no sedimento, modificando a concentração desses poluentes na coluna d'água, ao mesmo tempo em que a redistribuição de sedimentos na zona costeira pode causar erosão, assoreamento e interferir na manutenção de áreas dragadas (HOOKER *et al.*, 2007).

Um observador mais atento é capaz de perceber as contrastantes variações na coloração e textura do oceano ao longo das estações do ano na região sul do Brasil, área de interesse deste trabalho. DOBEREINER (1983)¹ **apud** MARTINS (1994), em um estudo sobre a dinâmica de zonas costeiras, descreveu que, em direção ao oceano, as partículas grosseiras (cascalho e areia) são depositadas rapidamente e formam deltas, enquanto que as partículas finas (silte, argila e demais partículas) sedimentam apenas quando a energia é cessada. E são justamente essas partículas finas que permanecem em suspensão e precipitam vagarosamente as responsáveis pela turbidez dos corpos aquosos costeiros.

A turbidez é definida como a propriedade de um meio causar o espalhamento e absorção da luz incidente impedindo a transmissão direta e linear ao longo de uma amostra (LAWLER, 2006). As partículas responsáveis por possibilitar esse espalhamento incluem grãos de silte e argila, fitoplâncton, microorganismos, matéria orgânica e demais substâncias particuladas. Da mesma maneira, a presença de bolhas e descontinuidades de densidade no corpo aquoso conforme o nível de agitação do mar também pode modificar a

¹ DOBEREINER, C. (1983). Importância do comportamento de suspensões no assoreamento de portos em estuários In: Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos. Blumenau.

trajetória da luz (LAWLER, 2006). Os constituintes orgânicos e inorgânicos são em sua maioria carregados da terra e rios para estuários e oceanos, e sua dispersão ao atingir a zona costeira possibilita a formação de plumas.

As plumas são caracterizadas como área de influência das águas dos rios ou estuários cuja salinidade é menor do que a da água oceânica circundante (PIOLA *et al.*, 2004). Localizadas na desembocadura de rios e estuários ou dispersas ao longo da plataforma continental, são feições marcantes das zonas costeiras e impossíveis de passarem despercebidas. Através da interferência de fatores hidrológicos e climáticos há a variação no transporte dos constituintes da água do mar influenciando tanto a homogeneização horizontal e vertical da coluna d'água quanto os processos de difusão, advecção, deposição e erosão ao longo de extensas áreas costeiras (DURAND *et al.* 2002).

Na medida em que os processos de transporte podem alterar os padrões de dispersão do material em suspensão e as quantidades destes que ficam presos nos estuários ou são transportados ao longo da plataforma continental, é comum relacionar a intensidade com que os processos acontecem com a ocorrência e persistência de eventos meteorológicos – chuvas, estiagens, passagem de sistemas frontais, etc, os quais compõem a climatologia de cada bacia de drenagem (BOLDRIN *et al.*, 2005; NEZLIN & DIGIACOMO, 2005). Para lidar com essas constatações, é crescente a necessidade de se entender a dinâmica, extensão e intensidade das interações entre os rios, o continente, a atmosfera e as águas costeiras, o que, até o presente momento, não foi abordado consistentemente (HOOKER *et al.*, 2007).

O conhecimento atual a respeito da dispersão de materiais em suspensão e monitoramento de plumas associadas é baseado principalmente na oceanografia tradicional, ou seja, aquela realizada através de dados coletados em barcos e navios de pesquisa (FORGET & OUILLON, 1998). Ao mesmo tempo em que as atividades de campo permitem o detalhamento de parâmetros físicos e químicos de toda a coluna d'água, elas são normalmente restritas a um definido número de estações e amostras, devido a logística, custo elevado, condições meteorológicas, entre outros, o que é insuficiente para o estudo eficaz da dinâmica temporal e espacial da dispersão dos sedimentos (NEZLIN *et al.*, 2005; NEZLIN & DIGIACOMO, 2005; FORGET & OUILLON, 1998).

Uma alternativa para atender às necessidades abrangentes do estudo da dispersão do material em suspensão é o uso de imagens de satélite. Através do sensoriamento remoto, é possível resgatar informações da superfície do oceano em amplas escalas temporais e espaciais. Seu princípio é o de captar a radiação eletromagnética refletida pelos elementos na Terra e reconhecê-los através de uma assinatura espectral – conjunto de níveis de reflectância em diferentes comprimentos de onda que podem remeter ao estado físico e químico de um objeto (KIRK, 1994). No caso dos oceanos, essas informações são

comumente associadas às Propriedades Óticas Inerentes da Água – *IOP, Inherent Optical Properties* (TZORTZIOU *et al.*, 2006). Os dados são captados e adquiridos remotamente, a partir de sensores e equipamentos instalados a bordo de satélites, plataformas e aeronaves.

O surgimento de sensores cujos dados são disponibilizados gratuitamente possibilitou a difusão da utilização dessa tecnologia, de forma que a barreira que restringia seu uso – o alto custo, foi superada. Um desses sensores é o MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*, a bordo dos satélites Terra e Aqua, que disponibiliza através da NASA dados quase diários de toda a superfície terrestre com resolução espacial a partir de 250 metros (GSFC / NASA, 2006).

A partir do final da década de 1970, o sensoriamento remoto passou a ser utilizado como ferramenta nos estudos de propriedades dos sólidos suspensos da água do mar, com base na característica de que estes causam o aumento da radiância da superfície da água nos canais visível e infravermelho do espectro eletromagnético (MOBASHERI & HAMID, 2004). Assim, enquanto nas coletas *in situ* é possível observar o decréscimo da salinidade, e deste modo caracterizar a presença das plumas, na observação remota leva-se em conta a reflectância dos materiais que constituem a água do mar. Conhecendo as propriedades óticas da água, é possível então estabelecer correlações com a salinidade (NEZLIN & DIGIACOMO, 2005; BOWERS, *et al.*, 2004), observar as plumas e identificar os diversos processos e feições relacionados à dinâmica costeira.

Autores como NEZLIN & DIGIACOMO (2005) e DZWONKOWSKI & YAN (2005) descrevem as dificuldades em se relacionar a dimensão e a persistência das feições de plumas na Califórnia e Baía de Chesapeake – EUA, respectivamente, com os eventos meteorológicos e hidrológicos por não terem conhecimento sobre, por exemplo, o quanto da precipitação influencia a formação das plumas e o quanto fica retido no continente; como se dá a dispersão geral dos poluentes; qual o papel dos pequenos rios na circulação costeira; ou qual a importância das marés na dispersão do material, o que envolve ainda a interação desses ciclos com a topografia local. Com toda a certeza, os estudos na costa sul brasileira esbarram nas mesmas limitações.

Atualmente, grandes esforços vêm sendo feitos para preencher essas lacunas do conhecimento. A NASA (2006) divulgou recentemente suas prioridades de pesquisa e desenvolvimento para a próxima década, estando o entendimento do comportamento da zona costeira frente às mudanças ambientais no topo da lista. Como justificativa, eles utilizam, entre outros, uma situação observada no Atlântico Norte. Nesta região, é comum a atuação de fracos ventos de nordeste soprando continuamente durante a primavera levar a formação de *blooms* de fitoplâncton ao longo de toda a plataforma continental. No entanto, o processo não é o mesmo todos os anos e, mesmo se a tendência em grande escala se repetisse, esperar-se-ia que cada região se comportasse de uma forma característica.

Entender e prever as mudanças nesses padrões ou acontecimentos demandam o conhecimento de diversas variáveis físicas, climáticas e ambientais, em diversas escalas temporais e espaciais (HOOKER, 2007; NEZLIN & DIGIACOMO, 2005). E este trabalho incorpora essas necessidades, visando a aquisição de conhecimentos sobre o litoral sul do Brasil.

1.1 Abordagem Geral

1.1.1 O Sensor MODIS-Aqua

Devido à necessidade de se gerar informações com grande precisão e repetibilidade a respeito da dinâmica dos ecossistemas e as relações entre a terra, o oceano e atmosfera para possibilitar o entendimento e monitoramento das mudanças globais, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) iniciou o desenvolvimento de novos instrumentos para coleta de dados, entre eles, o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*).

Dois satélites portando sensores MODIS foram lançados: Em 2000, o Terra (EOS-AM – passagem no Equador às 10:30) e em 2002 o Aqua (EOS-PM – passagem no Equador às 13:30). Segundo BARNES *et al.* (2003), o estudo das variáveis da cor do mar deve ser realizado através dos sensores do satélite Aqua, já que o Terra apresenta instabilidades na banda de menor comprimento de onda, comprometendo a geração dos produtos em questão, sendo, portanto, o utilizado neste trabalho.

O MODIS-Aqua oferece cobertura global diária para latitudes superiores a 30° e a cada dois dias para latitudes inferiores a 30° (SAVTCHENKO, 2004; ANDERSON *et al.*, 2003), embora FREITAS & NOERNBERG (2007) observaram inconsistências na órbita do sensor que resultam no não imageamento de certas áreas do sul do Brasil por períodos além do esperado. Sua órbita é polar e síncrona com o sol. Possui 36 bandas espectrais, com amplitude de 0.4 a 14.4 μm : duas bandas de 250m de resolução espacial, cinco de 500m e vinte e nove de 1000m, imageando 2330 km de superfície terrestre na direção do voo (BARNES, 2002). A resolução radiométrica é de 12 bits.

As especificações das bandas do sensor estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição das bandas do sensor MODIS organizadas conforme a distribuição no espectro eletromagnético. Em destaque (azul), as principais bandas utilizadas durante o processamento.

Espectro	Comprimento de onda (µm)	Banda	Res. espacial	Aplicação
Azul	0.405 – 0.420	8	1000 m	Oceânica
	0.438 – 0.448	9		
	0.459 – 0.479	3	500 m	Terrestre
	0.483 – 0.493	10	1000 m	Oceânica
Verde	0.526 – 0.536	11	1000 m	Oceânica
	0.546 – 0.556	12		
	0.545 – 0.565	4	500 m	Terrestre
Vermelho	0.620 – 0.670	1	250 m	Terrestre
	0.662 – 0.672	13	1000 m	Oceânica
	0.673 – 0.683	14		
	0.743 – 0.753	15		
Infra-vermelho próximo	0.841 – 0.876	2	250 m	Terrestre
	0.862 – 0.877	16	1000 m	Oceânica
	0.890 – 0.920	17		Atmosférica
	0.931 – 0.941	18		
	0.915 – 0.965	19		
Infra-vermelho médio	1.230 – 1.250	5	500 m	Terrestre
	1.628 – 1.652	6		
	2.102 – 2.155	7		
Infra-vermelho termal	3.6 – 14.4	20 a 36	1000 m	Diversa (captação de informações também durante a noite)

Baseado em: BARKER *et al.* 1992² apud ANDERSON *et al.*, 2003 e GSFC / DAAC / NASA, 2006.

1.1.2 Os Sólidos em Suspensão e o Espectro Eletromagnético

O material total em suspensão na água inclui uma grande variedade de partículas de origens físicas e biológicas (CHAUHAN *et al.*, 2005), e determinar natureza e quantidade desses diferentes componentes ainda é um desafio no sensoriamento remoto. O que se faz é, através da variação da resposta espectral dos componentes, utilizar certos canais do espectro eletromagnético de modo a estimar as variações na concentração do material em

² BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J.; HOUGHT, D. (1992). MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization. 84p.

suspensão (FORGET & OUIILLON, 1998). Diversos autores, entre estes RITCHIE *et al.* (1976, 1990) demonstraram uma relação curvilínea entre reflectância e concentração de partículas inorgânicas na água.

As águas costeiras e estuarinas são consideradas do Tipo II, com influência de aportes terrestres e interação com o fundo. As pequenas profundidades proporcionam a ressuspensão e o transporte intenso de materiais, tornando o sistema bastante complexo do ponto de vista ótico (WOODRUFF *et al.*, 1999). Em contraste, as águas do Tipo I – oceânicas, são mais simplificadas óticamente, apresentando leves atenuações na presença de fitoplâncton (WOODRUFF *et al.*, 1999).

Acredita-se que a principal diferenciação ótica entre os tipos de água está localizada entre os comprimentos de onda de 0.4 e 0.7 μm do espectro eletromagnético (LI *et al.*, 2003), sendo a água turva representada por maiores reflectâncias. Estima-se também que a profundidade de penetração a 90% de atenuação da luz pode chegar a 40 m na banda de 0.46 μm e menos que um milímetro na banda de 2.1 μm (MOBASHERI & HAMID, 2004). Desta maneira, acredita-se que a turbidez pode afetar faixas espectrais desde o visível até 0.86 μm . MARTINS (1994) diferenciou o comportamento espectral das águas oceânicas com presença de fitoplâncton, comparadas com águas túrbidas ricas em sedimentos inorgânicos, “pela atenuação da radiação azul e por um realce na radiação verde do espectro eletromagnético visível”.

Em contraste, para as ondas mais longas (1.2 a 2.1 μm) a penetração de luz na água é tão pequena que impossibilita a reflexão dos sedimentos. O canal azul do visível (canal 3 do MODIS, 0.47 μm) também fica inviabilizado, mas desta vez por refletir em excesso os constituintes da atmosfera. Medidas entre 0.55 μm e 0.86 μm são influenciadas tanto por aerossol quanto por sedimentos.

Atualmente, um dos grandes desafios é o desenvolvimento de algoritmos bio-ópticos (ou seja, de uma relação matemática que considere as características ópticas dos diversos componentes da água oceânica) que representem consistentemente águas do tipo II, onde múltiplas substâncias dissolvidas e particuladas, oceânicas e terrígenas, co-existent e não necessariamente co-variantes, afetam a coloração do oceano (RUDDICK *et al.*, 2000, 2006; CARDER *et al.*, 2003; BOWERS *et al.*, 2000; SATHYENDRANATH *et al.*, 1987). Essa constatação vem do fato que, nessas zonas costeiras, turbidez, aerossóis e pigmentos fitoplanctônicos possuem padrões de absorção similares no comprimento do visível, implicando em falhas de algoritmos e, em caso de águas muito túrbidas, tornando a relação sólidos totais em suspensão e reflectância extremamente não linear (RUDDICK *et al.*, 2006). As falhas surgem durante a correção atmosférica, quando a radiância emergente da superfície do mar (L_w) é assumida como zero para comprimentos de onda a partir de 670 nm (infravermelho próximo), o que é válido para oceano aberto, mas é incoerente com as

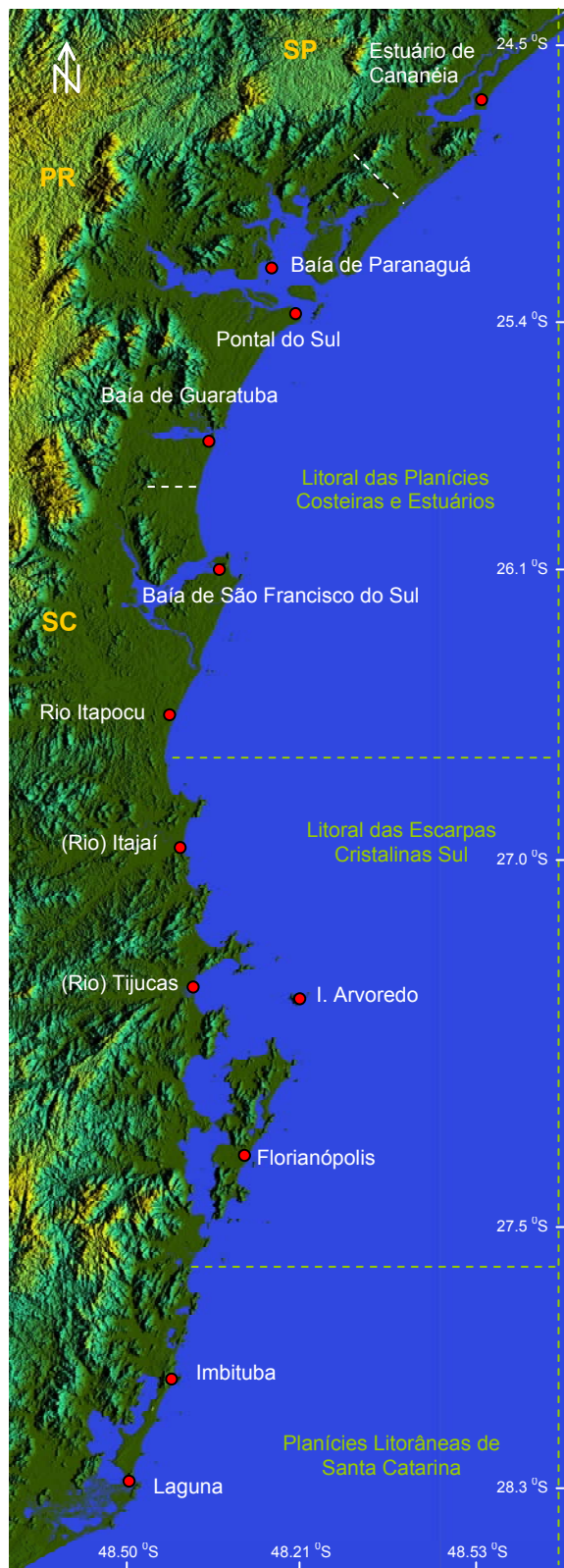
características das águas túrbidas costeiras (RUDDICK *et al.*, 2000). Apesar de o efeito dessas irregularidades em estudos quantitativos e de implementação de algoritmos não poder ser descartado, no presente estudo elas não interferiram na qualidade dos resultados.

1.2 Objetivos

- Analisar a viabilidade da utilização dos produtos do sensor MODIS no que se refere à detecção da turbidez costeira na região sul do Brasil;
- Fornecer informações sobre a viabilidade do uso das imagens de satélite como base para trabalhos futuros na região;
- Verificar a ocorrência de padrões na dispersão dos sólidos em suspensão ao longo da costa, incluindo variabilidades diárias, sazonais e inter-anuais, bem como obter informações a respeito da variabilidade dos fatores meteorológicos (ventos e chuvas) nos diversos pontos amostrados;
- Avaliar a correlação entre a intensidade da turbidez e os eventos meteorológicos e oceanográficos, bem como a persistência das consequências dessas interações;
- Avaliar as possibilidades de previsão das características de turbidez da área costeira estudada a partir de dados de precipitação;
- Verificar o papel da circulação costeira e do regime de ventos na dispersão dos sólidos em suspensão;

2. MÉTODOS

2.1 Área de Estudos



A área de estudo considerada compreende 450 quilômetros da costa sul brasileira, do Estuário de Cananéia, no litoral sul de São Paulo, ao Cabo de Santa Marta – em Laguna, Santa Catarina, entre as latitudes 24.5°S e 28.4°S. Tecnicamente, os limites da região de interesse foram baseados nas porções centrais das cenas imageadas pelo sensor MODIS, com menores distorções. Estrategicamente, coincide com a zona GB022 sugerida no Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil (MMA *et al.*, 1996) e abrange os seguintes Macrocompartmentos: 1) “Litoral das Planícies Costeiras e Estuários”, englobando, entre outras feições, os estuários de Cananéia, em São Paulo, de Paranaguá e Guaratuba, no Paraná, e de São Francisco do Sul, em Santa Catarina; 2) “Litoral das Escarpas Cristalinas Sul”, abrangendo alguns pontais rochosos e a Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, em Santa Catarina; e 3) “Planícies Litorâneas de Santa Catarina”, englobando da Ilha de Florianópolis ao Cabo de Santa Marta, ainda em Santa Catarina.

A abrangência da área de estudo é apresentada na Figura 1.

Figura 1. Área de estudo. Os pontos em vermelho indicam as áreas citadas ao longo do trabalho, referentes à localização de rios, estações meteorológicas e municípios. (Modelo de Elevação do Terreno - Shuttle Radar Topography Mission - SRTM).

O traçado do litoral se dá na direção nordeste na metade superior da área de estudo e na direção norte-sul a partir da Baía de Guaratuba, no Paraná, até o Cabo de Santa Marta, em Laguna, Santa Catarina (GRÉ, 1983).

A plataforma continental na região sul do Brasil é bastante extensa (ver mapa batimétrico na Figura 2) e formada por materiais terrígenos, principalmente areia e lama (GRÉ, 1983). Encontra-se sob predominância alternada das correntes do Brasil (no verão, temperatura superficial média de 24°C), sentido norte-sul, e de uma corrente costeira (no inverno, temperatura superficial média de 16°C), sentido sul-norte, sendo fortemente influenciadas pelos sistemas de ventos e drenagem continental (GRÉ, 1983).

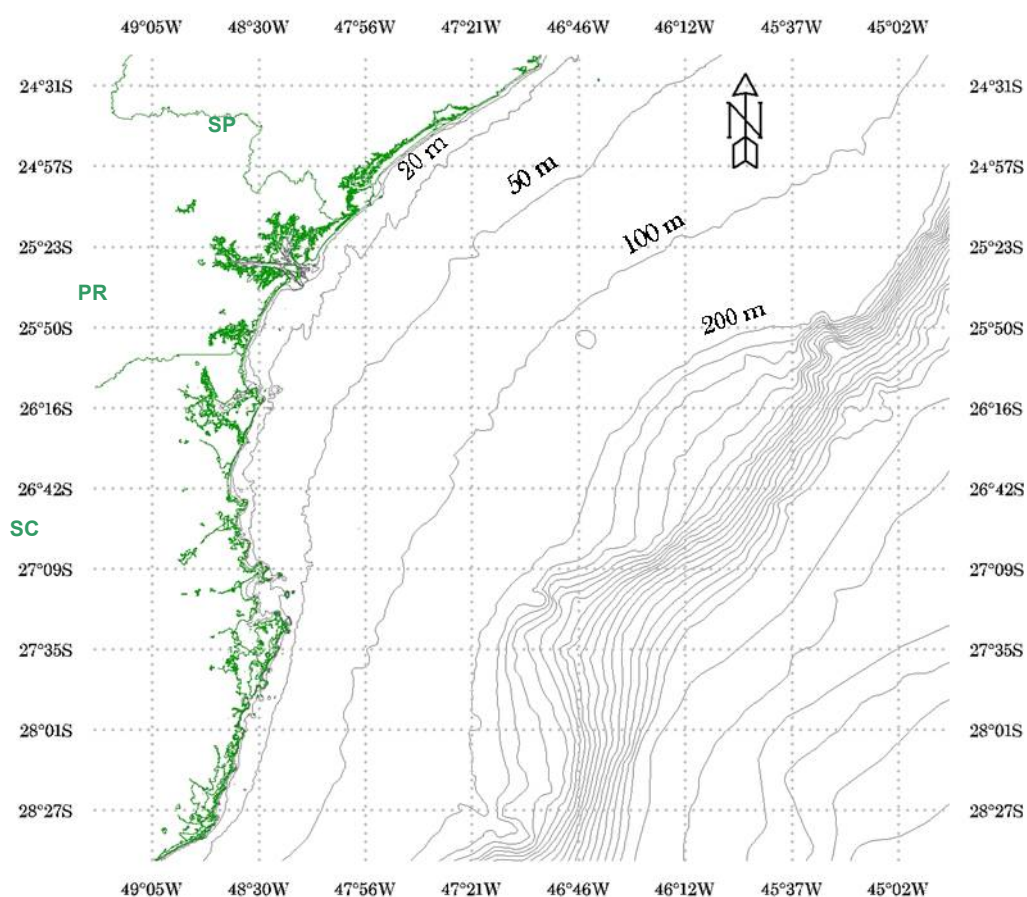


Figura 2. Batimetria da área de estudo.

O clima é classificado como subtropical, sempre úmido, com distribuição anual de chuvas relativamente regular (entre 1250 e 2000 mm) e temperaturas médias entre 13°C e 25°C (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2006; SOUZA, 1999), características essas resultantes da associação entre a posição geográfica da área, o relevo e a atuação de sistemas atmosféricos intertropicais e polares (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2006). A massa de ar predominante é a Massa Tropical Atlântica (quente e úmida), que se desloca

pela fachada litorânea e se associa a Massa Polar Atlântica (fria e úmida), que migra de Sudoeste para nordeste, originando as chuvas de final de verão e inverno do leste brasileiro. O encontro dessas duas massas é precedido pelas frentes frias, causando alterações de tempo em qualquer época do ano, com maior intensidade durante o inverno e primavera (MONTEIRO, 1992 **apud** HORN FILHO, 1993). A dinâmica da circulação dessas massas é controlada pela interação entre centros de alta pressão das altas latitudes (anticiclones semi-permanente do Atlântico Sul e Migratório Polar), o que inclui os anticiclones extratropicais que se destacam da massa polar e migram através do sul do continente e os ciclones extratropicais associados à passagem de frentes frias; e o centro de baixa pressão semi-permanente do Chaco (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2006; SOUZA, 1999; BIGARELLA, 1978).

O clima de ondas da região é condicionado ao padrão de ventos do Atlântico Sul. Geograficamente, o litoral sul do Brasil está distante dos grandes centros de alta e baixa pressão, responsáveis pela geração de grandes ondas. No entanto, a partir da presença de sistemas frontais, podem ser gerados centros de baixa pressão em latitudes inferiores a 40°S. Quando esses ciclones são encontrados em latitudes inferiores à dos centros de alta pressão, as grandes ondas podem atingir a costa (GOBBI, 1997³ **apud** SOUZA, 1999).

No geral, a maré na área de estudo é caracterizada como micro-maré semi-diurna, com duas preamares e duas baixamares de amplitudes diferentes (DHN, 2007). Segundo MARONE & CAMARGO (1994), a passagem de frentes associada aos fortes ventos do quadrante sul é capaz de alterá-la, caracterizando as marés meteorológicas. Essas têm efeito mais significativo nas zonas litorâneas e embaixamentos, causando o empilhamento de água na costa (transporte de Ekman) e facilitando a erosão, principalmente quando a maré meteorológica soma-se à maré astronômica mais alta (sizígia).

A zona costeira do Paraná é caracterizada por uma vasta planície litorânea que se estende desde a Vila de Ararapira (ao norte), com ligação ao estuário de Cananéia, em São Paulo, até a barra do rio Sai-Guaçu (BIGARELLA, 1978). De importante relevância sócio-ambiental, encontram-se ao sul do estado a Baía de Guaratuba e, na parte central, o Complexo Estuarino de Paranaguá, que recebe cerca de 70% de toda a drenagem da bacia hidrográfica litorânea do Paraná (MANTOVANELLI, 1999). O fato de os estuários serem áreas de transição entre o continente e o oceano, havendo portanto importantes processos de mistura (NOERNBERG, 2001), tornam-nos áreas-alvo e de extrema relevância neste trabalho. Os ventos predominantes na região litorânea são dos setores ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m/s (NOERNBERG, 2001).

³ GOBBI, E.F. (1997). Gerenciamento costeiro: análise de casos do litoral do Paraná sob a perspectiva da engenharia costeira. COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado. 277p.

O litoral de Santa Catarina é caracterizado por alternância de encostas rochosas quase verticais e cordões arenosos que sustentam enseadas, baías e manguezais. Além disso, apresenta reentrâncias proeminentes, correspondentes a desembocaduras de rios de pequeno porte (exemplo, Pirabeiraba, Itapocu, Piraí, Saí-Mirim, etc) de importância fundamental no aprisionamento de materiais terrígenos oriundos de descarga fluvial (GRÉ, 1983). Grande parte das bacias hidrográficas do estado deposita sua carga sedimentar na Bacia Platina, mas cinco delas são voltadas para o Oceano Atlântico, sendo a do Itajaí-açu a mais extensa (GRÉ, 1983).

2.2 Seleção das imagens

A primeira etapa do trabalho consistiu na busca de imagens MODIS – Aqua passíveis de uso no site <http://laad.gsfc.nasa.gov/> a partir das coordenadas geográficas (-30, -31; -51, -50) referentes a um ponto central pertencente à área de estudo. As ferramentas de busca do site possibilitam a visualização prévia das imagens geradas através do dispositivo “Quick Look”, os quais foram armazenados para compor um banco de dados. Para cada dia dos três anos considerados (2004 a 2006), foi verificada a qualidade das imagens, do ponto de vista da quantidade de nuvens presentes, do ângulo de visada do sensor durante o imageamento da área, e dos possíveis ruídos que podem inviabilizar o uso das mesmas, entre estes o *sunlint* - faixa vertical esbranquiçada resultado da reflexão solar, que superestima os valores geofísicos e atinge a área de estudo durante o verão (FELDMAN *et al.*, 2005). Todas essas características foram organizadas em um calendário de viabilidade de uso de modo a facilitar a etapa de pedido e aquisição das imagens além de proporcionar agilidade a futuros trabalhos que necessitem o mesmo tipo de investigação prévia.

2.3 Pedido e aquisição das imagens

Dentre os diversos produtos oferecidos pela NASA, foi escolhido o MYD01 – *Raw Radiances in Counts*, imagem do nível 1A, em formato HDF (*Hierarchical Data Format*), com informações brutas de radiância para todas as bandas, calibração e navegação (SAVTCHENKO *et al.*, 2004). A aquisição de imagens nesse nível bruto de processamento permite um maior controle do pesquisador a respeito das calibrações e transformações realizadas até o produto final desejado. O pedido foi feito através do mesmo *website* utilizado na visualização das “quick looks”, e o download do produto via FTP (*File Transfer Protocol*), no endereço <ftp://laadsweb.nascom.nasa.gov>. Ao todo, fez-se o download e

processamento de 110 imagens. A distribuição temporal das imagens utilizadas pode ser visualizada no ANEXO I, em conjunto com dados de precipitação.

2.4 Processamento das imagens

Todo o processamento foi feito através do aplicativo SeaDAS v.5.0.5, disponibilizado gratuitamente pela NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>). A sequência de processamento consistiu-se de:

1. Georreferenciamento das imagens no nível 1A → geração do arquivo modis.GEO, que contém dados de latitude e longitude geodésicos, zênites e azimutes do sol e do satélite, além da altura do terreno a partir do geóide. A partir deste arquivo surgem também as máscaras de delimitação terra/oceano em malha de 1 km x 1 km – para aumentarem e focarem o contraste no oceano, e linha de costa (GFSC / DAAC / NASA, 2006).
2. Delimitação da área de estudo – extração da imagem nas coordenadas -24.5°S, -29.5°S; -44.5°W, -50°W → Geração de um novo modis.1A e de um novo modis.GEO.
3. Transformação de 1A+GEO para 1B – radiâncias georreferenciadas no topo da atmosfera, calibradas em $\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$ (GFSC / DAAC / NASA, 2006). → geração de três arquivos, com resolução espacial de 1 km, 500 m e 250 m.
4. Transformação de nível 1B para nível 2 – radiâncias calibradas, georreferenciadas, com aplicação de correção atmosférica (a partir de dados meteorológicos como ozônio, pressão, ventos, etc, acessados via FTP durante o processamento) e algoritmos bio-ópticos em resoluções espaciais finais de 1000, 500 ou 250 metros. Assim, o arquivo L1B de entrada precisa ser o de 1 km, pois é o que possui as bandas específicas para a aplicação oceânica e atmosférica. Nessa etapa, pode-se escolher entre diversos parâmetros geofísicos a serem gerados, ex: clorofila, temperatura da superfície do mar, reflectância de sensoriamento remoto, etc. Para a observação da turbidez costeira, optou-se pela utilização da radiância emergente da superfície do mar normalizada, centrada no comprimento de onda 555 nm (nL_{w555})⁴. Segundo LI *et al.* (2003) a nL_{w555} apresenta maior sensibilidade à turbidez em águas costeiras.
5. Definição de 7 transectos em direção ao oceano, com extensão de 200 km cada, para a retirada dos valores de radiância, através da função RLINE do SeaDAS (Figura 3). Os transectos referem-se, de norte para sul, a: Desembocadura do Estuário de Cananéia / SP;

⁴ A radiância no topo da atmosfera (R_{rs}), após correção atmosférica, é transformada na radiância que deixa a superfície do mar, ou L_w , a qual possibilita a retirada de informação a respeito da cor do oceano (CARDER *et al.*, 2003). No entanto, águas idênticas, mas em diferentes condições de iluminação possuem diferentes valores de L_w . Essa variabilidade pode ser removida, em parte, através da normalização de L_w pela irradiância solar ($R_{rs} = L_w / \text{irradiância}$), tornando a radiância emergente da superfície do mar normalizada, nL_w , a variável primária para estimativa de concentrações de componentes bio-ópticos (O'REILLY *et al.*, 2000).

Desembocadura da Baía de Paranaguá / PR; Desembocadura da Baía de São Francisco / SC; Rio Itapocu / SC; Rio Itajaí / SC; Rio Tijucas /SC; Município de Laguna / SC. Os dados foram organizados por transecto / ano em planilhas eletrônicas. Valores zeros e negativos (representando nuvens e ruídos, respectivamente), foram removidos ou substituídos por “Not a Number” – NaN nas planilhas.

6. Mudança de projeção, de cilíndrica para Mercator, a fim de facilitar a sobreposição e comparação visual das imagens. Essa transformação foi feita através do SeaDAS, com aplicação de diferentes paletas de cores (já que, caso a caso, uma certa composição de cores pode facilitar a interpretação dos processos nas imagens): níveis de cinza (“black and white”), NDVI e a padrão para nL_{w555} . O nível de contraste das imagens foi padronizado para todas as imagens e paletas.

7. Geração de composição colorida (*true-color*) com resolução espacial de 250m a partir das três bandas do nível 1B, apenas para visualização, conforme descrito por FRANZ (2006).

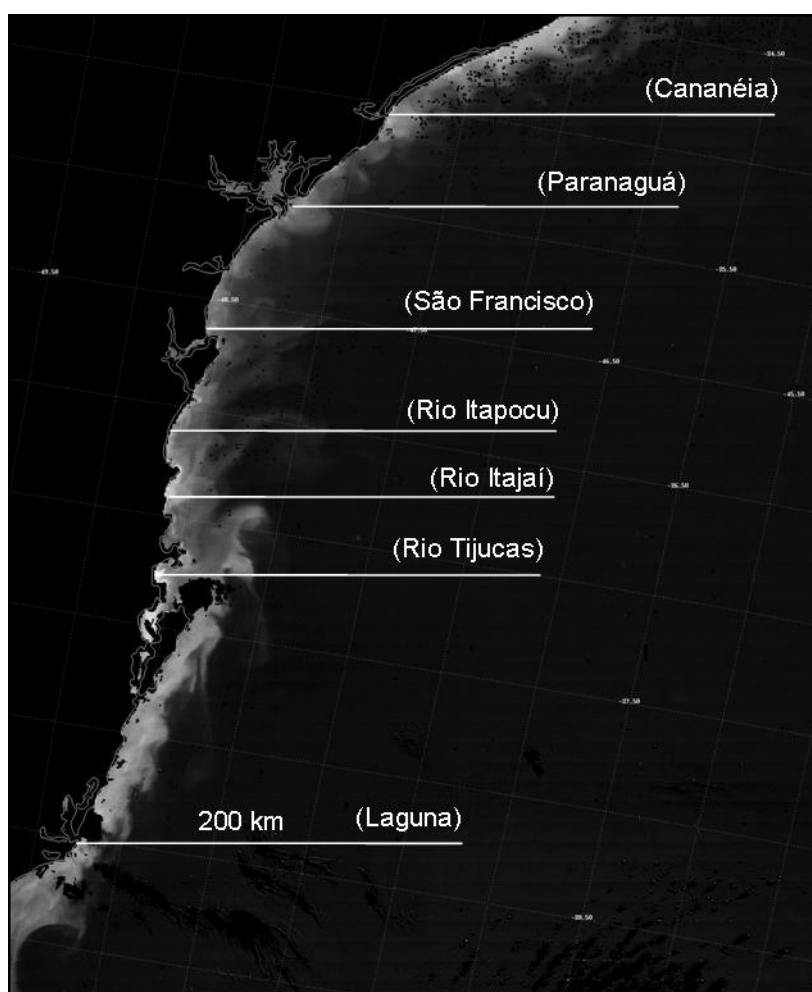


Figura 3. Imagem em projeção cilíndrica (original), com a disposição dos transectos para a retirada das informações de nL_{w555} (imagem MODIS de 30/08/04).

2.5 Análise das imagens

Foram feitas análises comparativas imagem - imagem; imagem – padrão de distribuição de nL_w555 ; imagem – pluviosidade; imagem – ventos.

Os transectos foram plotados em gráficos de dispersão (nL_w555 ao longo do ano em um mesmo local e, conforme o interesse, nL_w555 em uma mesma data, em locais diferentes).

2.6 Definição dos limites das plumas

NEZLIN & DIGIACOMO (2005) em um estudo na Califórnia testaram limiares de radiância entre 0.5 e 2.0 $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$ para definir que valor teria uma melhor correlação com a precipitação na região de interesse (o princípio utilizado seria o de a chuva ser a única causadora da pluma), com base em séries meteorológicas de 38 estações englobando a bacia de drenagem e imagens a cada três dias. No estudo, concluíram que radiâncias maiores que 1.3 $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$ são as que melhor distinguem as plumas da água adjacente. Por não possuir uma série meteorológica espacialmente distribuída e coincidente com um número satisfatório de imagens, e por a área considerada ser extensa e heterogênea, optou-se por simplificar o processo e definir visualmente um valor médio para caracterizar a ocorrência das plumas, para então analisar a variação na distância de alcance do material em suspensão conforme a ocorrência de eventos meteorológicos.

Para isso, foram selecionadas imagens referentes a períodos chuvosos e secos, de modo a amostrar os extremos de variação de nL_w555 na área estudada. Percebeu-se que tanto os valores 1.0 quanto 1.3 $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$ poderiam representar as diversas situações na costa, sendo portanto os selecionados para teste (valores mais baixos que 1.0 aparentemente não caracterizam turbidez, enquanto que a seleção de valores maiores que 1.3, indiscutivelmente representativos de turbidez mas presente em apenas alguns pontos da costa, incorreria na diminuição bruta do n amostral).

Os dados de nL_w555 foram organizados por dia Juliano (DJ) para cada ano e para cada estação. Para a definição dos limites da pluma, distâncias da costa maiores que 15 km foram excluídas para garantir a análise de águas caracteristicamente costeiras.

Dentro do limite considerado, foi feita a filtragem dos níveis de radiância maiores que 1.0 $mW\ cm^{-2}\ \mu m^{-1}\ sr^{-1}$, e fez-se a média desses valores. Depois, excluíram-se os maiores que 1.3, e registrou-se a média como no caso anterior. Ambos os limiares foram testados de modo a encontrar a melhor correlação com os dados meteorológicos.

2.7 Dados Meteorológicos

Foi realizada uma busca de dados meteorológicos disponíveis para as bacias de drenagem compreendidas na área de estudo junto a Agência Nacional de Águas (ANA; www.hidroweb.ana.gov.br), Centro de Informação de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (CIRAM; <http://ciram.epagri.rct-sc.br/cms/index.jsp>) e Centro de Estudos do Mar (CEM-UFPR; www.cem.ufpr.br). As estações selecionadas e detalhes da disponibilidade de seus dados estão na Tabela 2.

Tabela 2. Dados meteorológicos disponíveis para a área de estudo.

Estação	Origem dados	Medição*	Período disponível
Pontal do Sul – PR (nº 1006)	CEM-UFPR	V e P	2004 – 2006
São Francisco do Sul – SC (nº 1021)	EPAGRI	V	2004 (com falhas) e 2006
		P	2004 e 2005
Camboriu – SC	ANA	P	Fev a Set / 2004
Rio Blumenau – SC	ANA	P	2004
Rio Itajaí – SC (nº 1003)	EPAGRI	V	Até 12/08/2005
		P	2004 – 2006
Ilha do Arvoredo – SC (nº 1026)	EPAGRI	V	2004 e 2005 (com falhas) e 2006
		P	2004, 2005 e 2006 (com falhas)
Florianópolis – SC (nº 1006)	EPAGRI	P	2004 – 2006
Imbituba – SC	EPAGRI	V	2004-2006
		P	2004-2006 (sem 2º sem. 2004)

* V = dados de vento; P = precipitação horária;

É possível observar a inexistência de séries temporais atuais para os dados de vazão de rios, a princípio o tipo de dado mais indicado para estudos como o tal por representarem de maneira mais aproximada a quantidade de água que alcança as zonas costeiras. Assim, as estimativas dessas quantidades foram feitas de maneira indireta, através de dados de precipitação. Apesar de o método introduzir uma série de erros à análise (discutidos ao longo do trabalho), ele a princípio representou, para esta área, a forma mais aproximada e viável para o estudo.

Foram feitas médias diárias da intensidade dos ventos e um somatório diário da precipitação para os dados que representavam medições horárias (exceção para a Estação em Imbituba, com dados a cada cinco minutos). Para as séries mais completas, fez-se a

decomposição dos vetores de intensidade e direção dos ventos (u e v). As porções relativas às brisas marinha e terrestre não foram filtradas da análise. Eventuais falhas e inconsistências nas séries foram localizadas e substituídas por “NaN”.

Os dados foram analisados sob a forma de vetores de direção e intensidade dos ventos e gráficos de linha e barra, todos realizados através de Excel e MATLAB 6.0.

2.8 Espectros de Potência – Transformada Rápida de Fourier

A periodicidade e variabilidade das séries temporais de precipitação e ventos foram analisadas através de espectros de potência, a partir da “Transformada Rápida de Fourier”. Essa técnica aplica funções seno e cosseno em séries uniformemente espaçadas no tempo para revelar que componentes do espectro de energia são mais relevantes no sinal dos dados, embora não indique a que período real a periodicidade está relacionada (LAU & WENG, 1995⁵ **apud** PASQUINI & DEPETRIS, 2007). A aplicação da técnica foi baseada no descrito por MARQUES (2005), e incluiu a remoção das médias e tendências lineares, para evitar o acúmulo de energia em bandas de baixa frequência; a aplicação de um filtro de 100 dias na série, para verificar as flutuações em menores escala de tempo e; a suavização dos dados no domínio de frequência, para aumentar a significância estatística, resultando em intervalo de confiança de 0.95 e 6 graus de liberdade.

2.9 Integração dos Dados

O efeito de uma determinada chuva no padrão de turbidez foi avaliado através da premissa básica de dependência linear entre causa / efeito (chuva / aumento da turbidez). Assim, matrizes de correlação e gráficos de dispersão (análise dos coeficientes de correlação e determinação) foram utilizadas na integração de todos os dados disponíveis.

Para avaliar o tempo entre a ocorrência do evento e sua resposta, como sugerido por WALKER (1996), e assim determinar qual chuva poderia ser responsável por qual efeito, correlacionou-se a chuva do dia anterior, e as chuvas acumuladas de 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10 e 15 dias anteriores a aquisição da imagem considerada, com a intensidade média de nL_{w555} dentro dos 15 quilômetros considerados para a zona costeira, e para ambos os limiares definidos anteriormente. No caso de os dados de nível de rio estarem disponíveis, correlacionou-se os mesmos parâmetros de radiância com o nível do rio registrado no dia

⁵ LAU, K.-M.; WENG, H. (1995). Climate signal detection using wavelet transform: How to make a time series sing. *Bulletin American Meteorological Society* 76, 2391–2404.

anterior ou até 7 dias anteriores a aquisição da imagem, e também com o sinal acumulado do nível do rio de 2 a 15 dias, como feito para a precipitação.

Para avaliar a persistência de uma determinada pluma ou feição ao longo do tempo e também verificar o papel de fracas precipitações na dinâmica costeira, foram selecionados eventos de chuva de diferentes magnitudes seguidos de dias secos (1 a 7, 10 e 15 dias), coincidentes com imagens, da mesma maneira correlacionando-os com a intensidade dos sinais de turbidez.

A influência dos ventos na ressuspensão e dispersão dos sedimentos foi avaliada através da comparação visual entre a intensidade dos ventos e extensão das plumas e entre a direção dos ventos e os padrões de dispersão do material em suspensão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das informações obtidas através dos transectos permitiu caracterizar a complexidade ótica da região estudada e, com a observação das imagens, atribuí-la às variabilidades temporais e espaciais. O padrão de distribuição de nL_w555 observado ao longo dos 200 km amostrados está descrito na Figura 4. Os gráficos gerados para cada transecto encontram-se no ANEXO II.

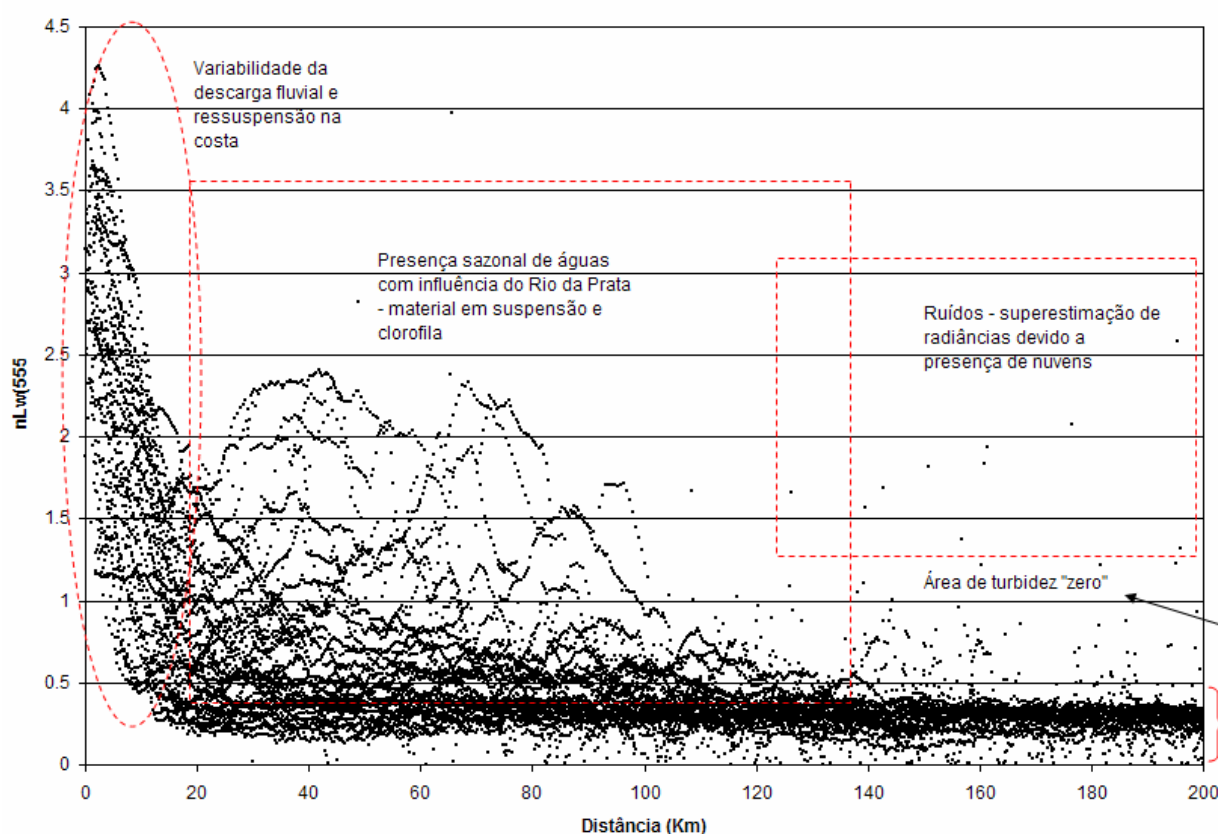


Figura 4. Padrão de distribuição de $nL_w 555$ ao longo dos 200 km amostrados através dos 7 transectos.

A zona costeira (primeiros 15 a 20 km) é expressa como uma zona com gradientes abruptos de nL_w555 , e cujas amplitudes de variação oscilam ao longo do tempo conforme diferentes condições meteorológicas. Os valores se mostram mais intensos quanto mais próximos da costa, o que está relacionado à proximidade dos aportes continentais e às baixas profundidades, refletindo os processos de interação continente-oceano-atmosfera característicos dessas regiões.

Com o distanciamento da costa, como esperado, há a tendência de diminuição dos níveis de nL_w555 (aumento da transparência da água e aumento da profundidade) até atingir

valores caracterizando o oceano aberto (no caso, valores menores que $0.5 \text{ mW cm}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{ sr}^{-1}$).

A linearidade do processo é interrompida ao final do outono e durante o inverno, principalmente, quando se observa o aumento considerável nos níveis de nL_{w555} devido à intrusão de uma massa d'água vinda do sul do país (corrente costeira + ação dos ventos + águas do Rio da Prata e Lagoa dos Patos), e cuja assinatura espectral pode refletir, além da presença de materiais inorgânicos, na fertilização das águas costeiras (PEREIRA, 2006; SOUZA & ROBINSON, 2004; PIOLA, 2000; SILVA JR *et al.*, 1996). O fenômeno é identificado na maioria das estações amostradas a partir de 20 km da costa. Vale lembrar que, neste trabalho, a turbidez observada durante a propagação da corrente costeira será tratada também como “fertilização pelo Rio da Prata”. Por fertilização, considera-se o efeito de a existência de condições ambientais favoráveis (temperatura, salinidade, luz, oxigênio, hidrografia, nutrientes) possibilitar o desenvolvimento e manutenção de organismos fitoplanctônicos, principais responsáveis pela produção primária - conversão de carbono inorgânico em matéria orgânica e, conseqüentemente, base da teia alimentar marinha (PEREIRA & GOMES, 2002; LALLI & PARSONS, 1997).

Valores incomuns de nL_{w555} , geralmente dispersos e distantes do continente, parecem representar pontos no oceano cujos níveis digitais foram superestimados devido a proximidade de nuvens, com comportamento espectral muito diferente.

Os fatores ambientais relacionados à grande variabilidade espacial e temporal observada a partir da distribuição da nL_{w555} ao longo dos transectos, bem como o comportamento regional da dinâmica oceânica, serão descritos em maiores detalhes ao longo do trabalho.

3.1 Correlação entre eventos meteorológicos e a variação da turbidez nas zonas costeiras

A variabilidade em menores escalas de tempo, especialmente na zona costeira, foi avaliada a partir do princípio que a precipitação e os ventos são os fatores primários que possibilitam a visualização e monitoramento da mudança das características de turbidez por imagens. E isso foi levado em consideração com base no conhecimento empírico, ou seja, quem nunca observou que, após a passagem de uma frente fria, ou após uma tempestade intensa, as ondas aceleram as misturas, provocam turbulências, favorecem a ressuspensão e a água costeira muda de cor, tornando-se amarronzada? Desta maneira, seria possível correlacionar a intensidade de tais eventos (através da análise de séries meteorológicas) com a intensidade, alcance, persistência e dispersão da turbidez.

Neste trabalho, buscaram-se dados meteorológicos diários para os anos de 2004 a 2006 referentes às bacias de drenagem que deságuam na área de estudo. No entanto, os únicos dados completos aos quais se teve acesso foram os de 7 estações meteorológicas localizadas nos litorais dos dois estados. Assim, foi necessário considerar essas informações válidas para toda a área de drenagem, como que se a tendência de ocorrência dos eventos no local “X” fosse a mesma do local “Y”, com algum tempo de atraso calculado, se necessário.

Os transectos da Baía de Paranaguá, Baía de São Francisco do Sul e Rio Itajaí foram os utilizados para a correlação direta entre os eventos meteorológicos (principalmente no caso de chuvas) por estarem localizados mais próximos às estações meteorológicas da sua região. Caso contrário, a comparação entre evento e sinal em locais diferentes poderia implicar em erros e afetar a eficiência da análise.

Os resultados das matrizes de correlação efetuadas estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3. Resumo das matrizes de correlação (R^2 ; $\alpha=0.05$) entre os dados disponíveis e a intensidade de nL_w555 . Maior atenção foi dada aos valores destacados em azul por apresentarem alta significância.

Variáveis	n	Coeficiente de correlação Limite pluma $nL_w555 > 1.0$	Tipo de precipitação: maior correlação com	Coeficiente de correlação Limite pluma $nL_w555 > 1.3$	Tipo precipitação: maior correlação com
Geral / estação					
Todas as estações	218	0.21	Σ dos 3 dias anteriores	0.18	Σ dos 3 dias anteriores
Inverno	79	0.24	Σ dos 3 dias anteriores	0.21	Σ dos 2 dias anteriores
Outono	78	0	-	0	-
Verão	44	0	-	0	-
Primavera	17	0.14	chuva do dia anterior	0.12	chuva do dia anterior
Soma chuvas > 80mm nos 3 dias anteriores	17	0.46	Σ dos 3 dias anteriores	0.35	Σ dos 3 dias anteriores
Por ano					
Todos 2004	70	0	-	0	-
Todos 2005	83	0.63	Σ dos 3 dias anteriores	0.56	Σ dos 3 dias anteriores
		0.61 a 0.54	Σ de 4 a 6 dias anteriores	0.54 a 0.50	Σ de 4 ou 5 dias anteriores
Todos 2006	65	0.15	chuva do dia anterior	0.14	chuva do dia anterior
Por estação / ano					
Primavera 2004 todos	4	0	-	0	-
Verão 2004 todos	21	0.16	chuva de 6 dias antes	0	-
Outono 2004 todos	24	0.47	chuva de 4 dias antes	0.48	chuva de 4 dias antes
Inverno 2004 todos	24	0.318	chuva de 2 dias antes	0.31	Σ dos 2 dias anteriores
		0.31	Σ dos 2 dias anteriores		
		0.23 a 0.29	Σ de 3 a 10 dias anteriores		
Primavera 2005	5	0	-	0	-
Verão 2005 todos	20	0	-	0.18	chuva do dia anterior

Outono 2005 todos	32	0.26	Σ dos 6 dias anteriores	0.16	Σ dos 2 dias anteriores
Inverno 2005 todos	28	0.826	Σ dos 4 dias anteriores	0.776	Σ dos 4 dias anteriores
		0.816	Σ de 5 a 7 dias anteriores	0.763	Σ de 5 a 7 dias anteriores
Primavera 2006	11	0	-	0	-
Verão 2006	4	0	-	0	-
Outono 2006	23	0.17	chuva de 2 dias antes	0.25	chuva de 2 dias antes
Inverno 2006	27	0.15	chuva do dia anterior	0	-
Estações / transecto					
Primavera Pontal	3	0	-	0	-
Verão Pontal	14	0.22	Σ dos 6 dias anteriores	0.17	Σ dos 6 dias anteriores
Outono Pontal	26	0.19	chuva de 6 dias antes	0.13	chuva de 6 dias antes
Inverno Pontal	28	0.47	Σ dos 2 dias anteriores	0.49	Σ dos 2 dias anteriores
Primavera S.Fco	5	0.45	chuva de 2 dias antes	0.3	chuva do dia anterior
Verão S.Fco	15	0.56	chuva de 6 dias antes	0.43	chuva de 6 dias antes
Outono S.Fco	18	0.6	Σ dos 6 dias anteriores	0.55	Σ dos 4 dias anteriores
Inverno S.Fco	25	0.82	Σ dos 5 dias anteriores	0.76	Σ dos 5 dias anteriores
Primavera Itajaí	8	0.28	chuva de 2 dias antes	0.225	chuva de 2 dias antes
Verão Itajaí	15	0.6	chuva de 3 dias antes	0.66	chuva de 3 dias antes
Outono Itajaí	36	0.2	chuva de 4 dias antes	0.395	chuva de 4 dias antes
Inverno Itajaí	26	0.25	chuva de 3 dias antes	0.3	chuva de 2 dias antes
S.Fco + Pontal					
Inverno 2004	18	0.54	Σ dos 2 dias anteriores	0.47	Σ dos 2 dias anteriores
Inverno 2005	20	0.9	Σ dos 3 dias anteriores	0.88	Σ dos 3 dias anteriores
		0.88	Σ de 4 a 7 dias anteriores	0.85	Σ de 4 a 7 dias anteriores
Inverno 2006	17	0.34	Σ dos 2 dias anteriores	0.32	Σ dos 2 dias anteriores
Inverno	53	0.59	Σ dos 2 dias anteriores	0.58	Σ dos 2 dias anteriores
		0.56	Σ de 3 a 5 dias anteriores	0.55	Σ de 3 a 5 dias anteriores
Todas estações	133	0.37	Σ dos 3 dias anteriores	0.35	Σ dos 3 dias anteriores
Outono	42	0.21	Σ dos 2 dias anteriores	0.18	Σ dos 2 dias anteriores

Pode-se resumir os resultados mais relevantes da seguinte maneira:

- Há indícios de que apenas eventos de chuva mais intensos são significativamente correlacionados com a quantidade de turbidez gerada, embora uma maior quantidade de imagens coincidindo com esses eventos seria necessária para aumentar a confiabilidade dessa constatação; ou seja, não é possível fazer a distinção entre a turbidez gerada a partir de uma fraca precipitação daquela gerada ou consequência de outros fatores como a ressuspensão. A partir do momento em que precipitações de pequeno porte foram desconsideradas, a correlação aumentou significativamente. As estações do ano com precipitações de maior intensidade foram o inverno e o outono, principalmente para 2005, e as maiores correlações também estão representadas pelas imagens dessas datas. A

princípio, isso foi melhor observado em São Francisco e Pontal do Sul. Em Itajaí, é provável que chuvas de médio porte já possam resultar em uma boa correlação com a turbidez pela própria característica da pluma gerada e da bacia de drenagem.

- Quanto à alta correlação no inverno de 2005, para São Francisco e Pontal, vale lembrar que diversas foram as imagens exemplificando a fertilização pelo Rio da Prata na costa nesse período. A maior homogeneização das águas costeiras pode ter sido a responsável pelo aumento da correlação. Ou ainda, ambas situações podem ter colaborado para tal, já que as maiores precipitações coincidiram com o ápice da intrusão da massa d'água remota.

- O tempo entre ocorrer um evento de precipitação e seus sinais serem observados sob a forma de turbidez costeira aparenta ser de quatro a seis dias na região de Pontal do Sul e São Francisco (possivelmente relacionada a passagem de sistemas frontais na região) e de três dias na região de Itajaí. Supõe-se que o fato de os dois primeiros locais estarem localizados em áreas estuarinas, mais extensas e planas cause um atraso no tempo de causa / resposta entre chuva e turbidez em relação a Itajaí. Há também a possibilidade de o atraso ser decorrente do balanço entre o que é precipitado no litoral e em outros pontos da bacia de drenagem, até que o volume atinja o oceano.

- O limite entre águas túrbidas e águas oceânicas variou nos diferentes locais, conforme a quantidade de dados disponível e ao longo do tempo estudado. A turbidez de Itajaí foi melhor caracterizada pelo limiar de 1.3, possivelmente devido ao fato de o rio desaguar diretamente no oceano, possibilitando o aporte rápido e consistente de sólidos em suspensão na costa (visivelmente observado nos primeiros quilômetros). Os estuários, por outro lado, parecem ser dominados por processos de dispersão como as marés, já que os principais processos de mistura ocorrem no seu interior (NOERNBERG, 2001). Assim, por mais amena que pareça a turbidez, ela sempre pode ser observada em processo de dissipação em direção ao oceano (também ligado às características topográficas), além de poder variar consideravelmente ao longo do dia pela ação das diferentes marés (e apenas uma situação é registrada pelo sensor). Ademais, raros foram os casos que essa última região apresentou níveis de nL_{w555} consistentes com o observado em Itajaí, o que corrobora a diferença entre os processos dominantes de cada local (isto pode ser observado através dos transectos de distribuição de nL_{w555} , Figuras 15 e 16, pág.32).

- Mais significativas são as correlações quanto mais restritas são as escalas temporais e espaciais analisadas, o que incorre na diminuição no número de amostras necessárias para tornar a análise significativa. A variabilidade temporal de padrões de turbidez parece ser tão grande que não possibilita utilizar os diversos transectos disponíveis (nem mesmo no mesmo local) como réplicas.

- Ao mesmo tempo em que se encontram correlações significativas considerando alguns pontos e estações do ano, é comum não haver correlação alguma no que se refere a outras épocas e locais. Isso reflete a dinâmica da região, onde a interação entre os fatores causadores da turbidez (dentro de escalas temporais e espaciais distintas) parecem ser mais complexos e menos lineares do que o considerado, não podendo ser explicado de maneira precisa com a metodologia disponível. Imagens sem cobertura de nuvens e dados meteorológicos de toda a bacia de drenagem poderiam colaborar para o melhor entendimento desses processos, embora essas sejam limitações intrínsecas da maioria dos trabalhos como o em questão.

3.2 Análise da variabilidade dos eventos meteorológicos

As incertezas a respeito da existência ou não de padrões ou tendências temporais e espaciais relacionando os eventos meteorológicos e o comportamento da turbidez costeira podem estar ligadas à variabilidade de tempo natural dessas áreas, como sugere os resultados dos espectros de potência efetuados. A Figura 5 remete à série diária de precipitação e ventos para Pontal do Sul, de 2004 a 2006:

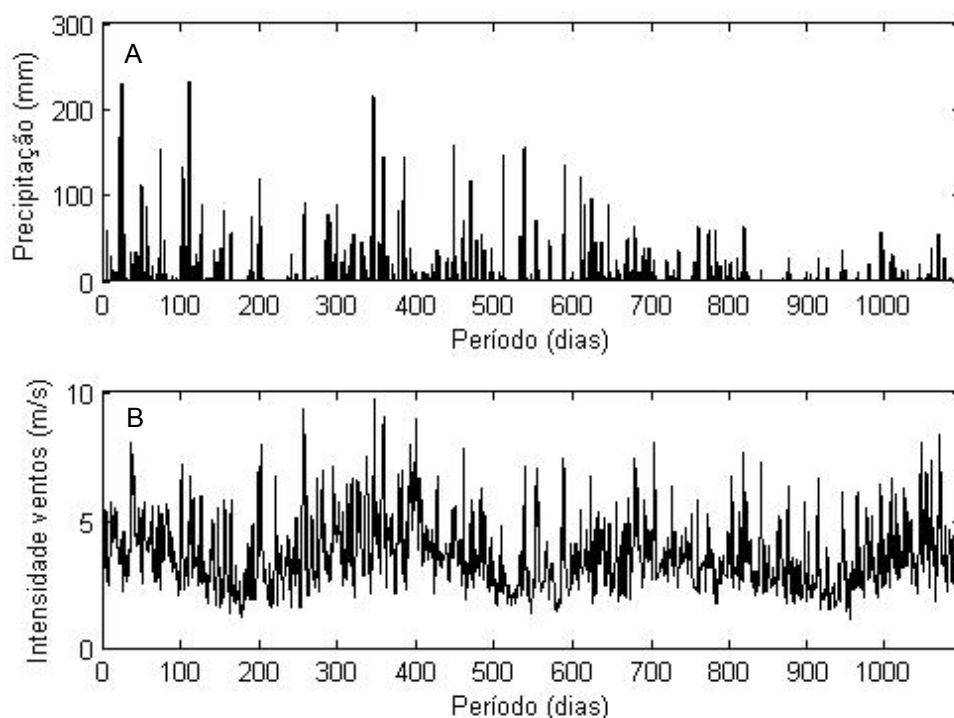


Figura 5. Série temporal dos dados de precipitação (A) e ventos (B) para Pontal do Sul, de 2004 a 2006.

A transformada de Fourier foi aplicada, já que é visível a existência de ciclos na série estudada, resultando no espectro de distribuição da energia da Figura 6.

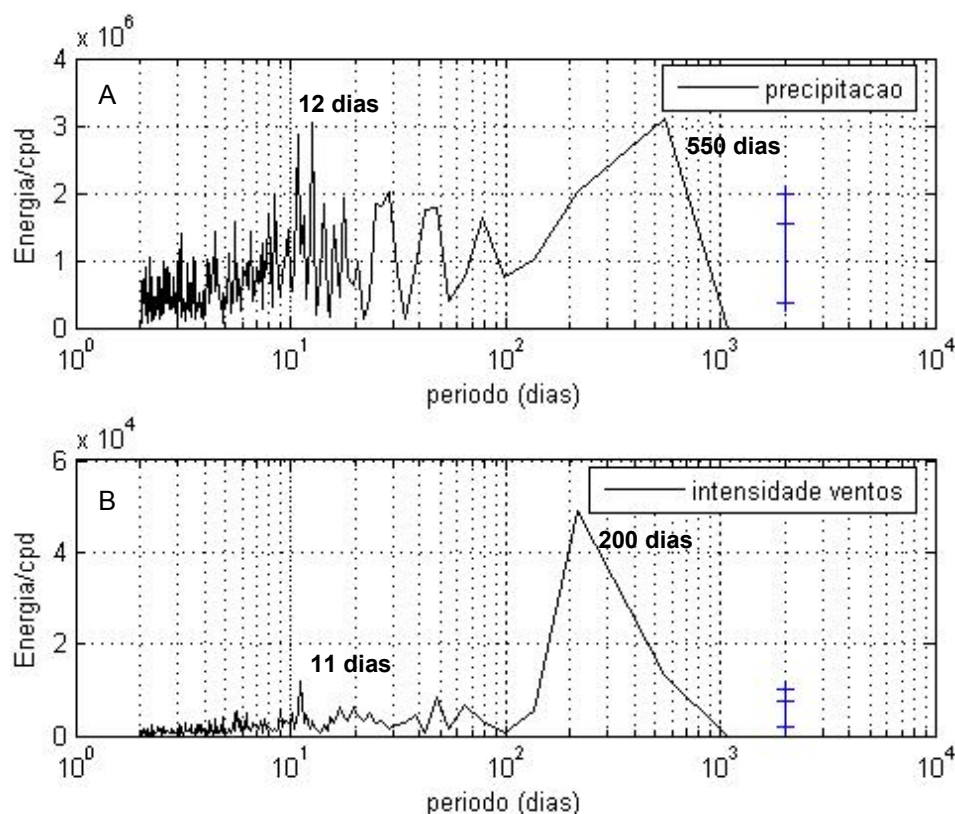


Figura 6. Espectro de potência da precipitação (a) e intensidade dos ventos (b) para a região de Pontal do Sul, de 2004 a 2006. Linha azul vertical: Intervalo de confiança de 0.95.

É evidente a existência de um ciclo de 11 – 12 dias na série de precipitação, possivelmente relacionado à passagem de frentes meteorológicas, consistente com o observado por MARQUES (2005), que as identificou em escalas de 3 a 15 dias para a região de Rio Grande - RS. Um pico no gráfico de ventos nesse mesmo período apóia essa hipótese, já que os sistemas frontais são dependentes do deslocamento de massas de ar e, consequentemente, da incidência de ventos. O ciclo de ventos mais marcante é relativo ao período de 200 dias, provavelmente relacionado às variabilidades sazonais naturais do ambiente. No campo da precipitação, o pico com maior carga energética se dá por volta dos 550 – 600 dias. Como o espectro da intensidade dos ventos não indica tal flutuação, especula-se que o pico esteja relacionado às anomalias de precipitação causadas por eventos de El Niño. Diversos autores, entre estes PASQUINI & DEPETRIS (2007), SAUNDERS & GHIL (2001) e RASMUSSEN *et al.* (1990), sugerem que esses eventos caracterizem variabilidades anuais e inter-anuais, com ciclos entre 18 meses e 7 anos. No

entanto, séries de dados mais longas seriam essenciais para a corroboração de quaisquer evidências.

De modo a entender a complexidade e diversidade climática da região de estudo, compararam-se os resultados das análises espectrais das séries de precipitação e ventos para Pontal do Sul e Imbituba, localizados nos dois extremos da área de estudo, para os anos de 2005 e 2006 (já que a série de 2004 de Imbituba era incompleta).

Nessa etapa, a intenção foi avaliar os padrões em altas frequências, já que as oscilações inter-anuais são aparentemente válidas para extensas áreas e não difeririam no contexto estudado, além de não serem diretamente responsáveis pela variação da turbidez, interesse desse trabalho. Assim, como essas variabilidades anuais e inter-anuais consomem grande parte do espectro energético (como se vê pelo espectro anterior de Pontal), mascarando a importância das oscilações de menor escala temporal, foi aplicado um filtro de 100 dias nas séries, como demonstrado nas Figuras 7 e 8, a partir da qual foi feito novas análises espectrais (Figuras 9 e 10).

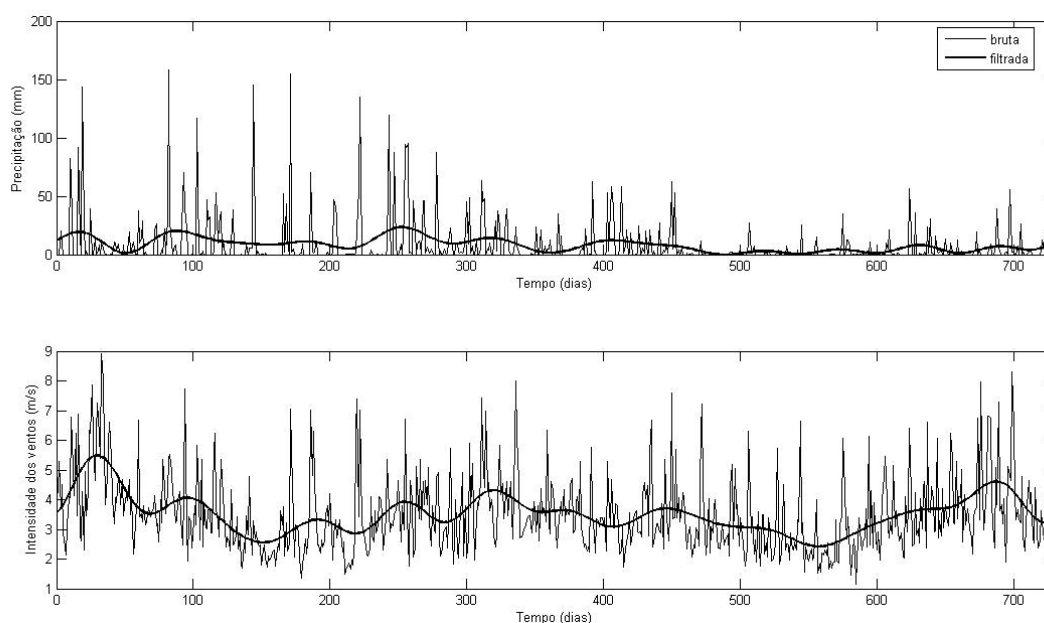


Figura 7. Série de precipitação e intensidade dos ventos bruta e filtrada para Pontal do Sul.

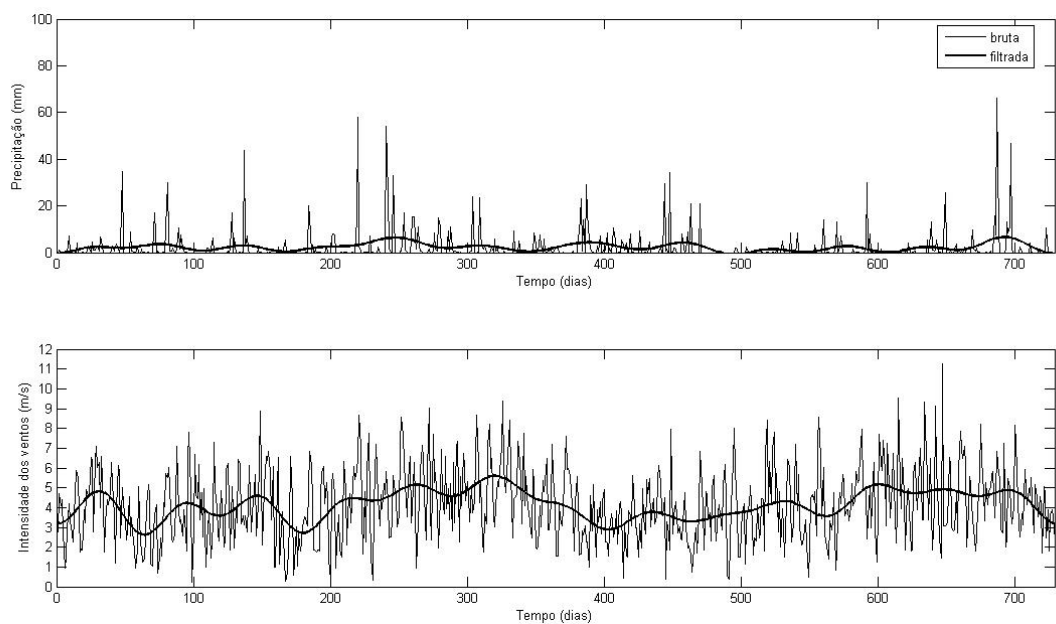


Figura 8. Série de precipitação e intensidade dos ventos bruta e filtrada para Imituba.

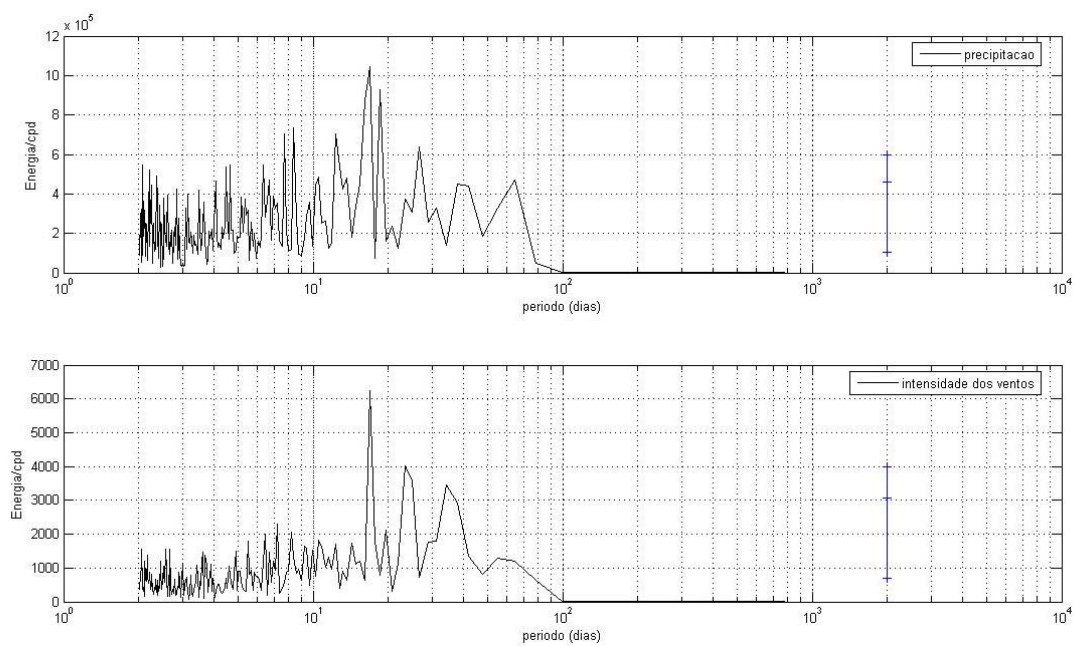


Figura 9. Espectro de potência dos dados filtrados para a série de precipitação e intensidade dos ventos para Pontal do Sul entre 2005 e 2006. Linha vertical: Intervalo de confiança de 0.95.

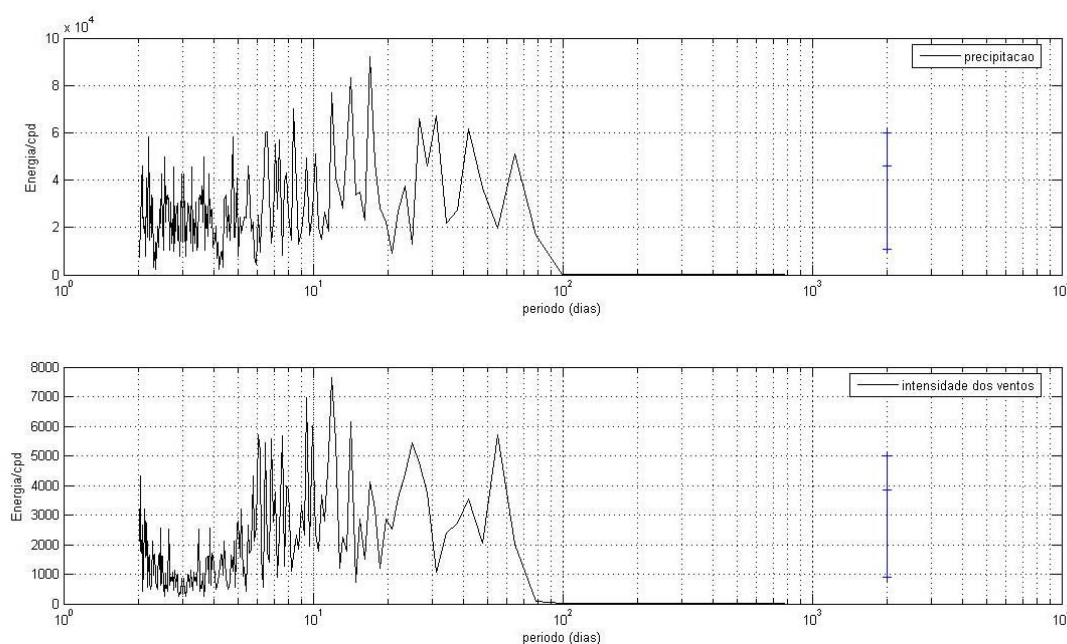


Figura 10. Espectro de potência dos dados filtrados para a série de precipitação e intensidade dos ventos para Imituba entre 2005 e 2006. Linha vertical: Intervalo de confiança de 0.95.

Agora, analisando apenas as variabilidades de alta frequência nos anos de 2005 e 2006, percebe-se que, apesar de a tendência ser a mesma, há diferenças pontuais na ocorrência e duração das oscilações nos dois locais. Em Pontal, um pico por volta dos 17 dias é destacado dos demais, tanto na precipitação quanto na intensidade dos ventos. No caso de Imituba, três picos são proeminentes, sendo que o mais significativo parece ser o de 12 dias, podendo ilustrar a maior vulnerabilidade da região a atuação de frentes meteorológicas, possivelmente como consequência da sua localização geográfica.

Extrapolando para as demais regiões de interesse nesse trabalho, imagina-se que cada uma delas possa apresentar padrões de variabilidade climática característicos e únicos, de maneira que a interação de todos os processos em escalas maiores pode resultar em dinâmicas complexas. Desta maneira, explica-se a dificuldade em associar causa e efeito (chuva e turbidez, por exemplo) em locais diferentes, ou em comparar eventos similares em escalas de tempo distintas. Portanto, se a quantidade de imagens disponível não for refinada o suficiente para caracterizar todas essas variabilidades, torna-se difícil encontrar correlações diretas e entender processos isolados.

Visualmente, essa complexidade pôde ser facilmente observada. Em pequenas escalas de tempo, a costa pode passar de altamente turbida a concentrações de turbidez quase zero; diversos efeitos podem ser observados em inter-conexão, como vazão de rios, dispersão, ressuspensão, resposta do fundo, turbulência, intrusão de águas remotas, evidências de fitoplâncton, etc, cujas fontes ou proporções dificilmente podem ser separadas

umas das outras; e é possível que, ao mesmo tempo, esses fatores sejam percebidos isoladamente em diferentes partes da área de estudo, etc.

Essas variabilidades, sob diferentes escalas espaciais e temporais, serão abordadas a seguir.

3.3 Variabilidade geral da turbidez em curta escala de tempo

O potencial de mudança dos padrões de turbidez na costa é imenso. A seqüência de figuras abaixo mostra as variações das características ópticas das águas costeiras em 20 dias (Figura 11).

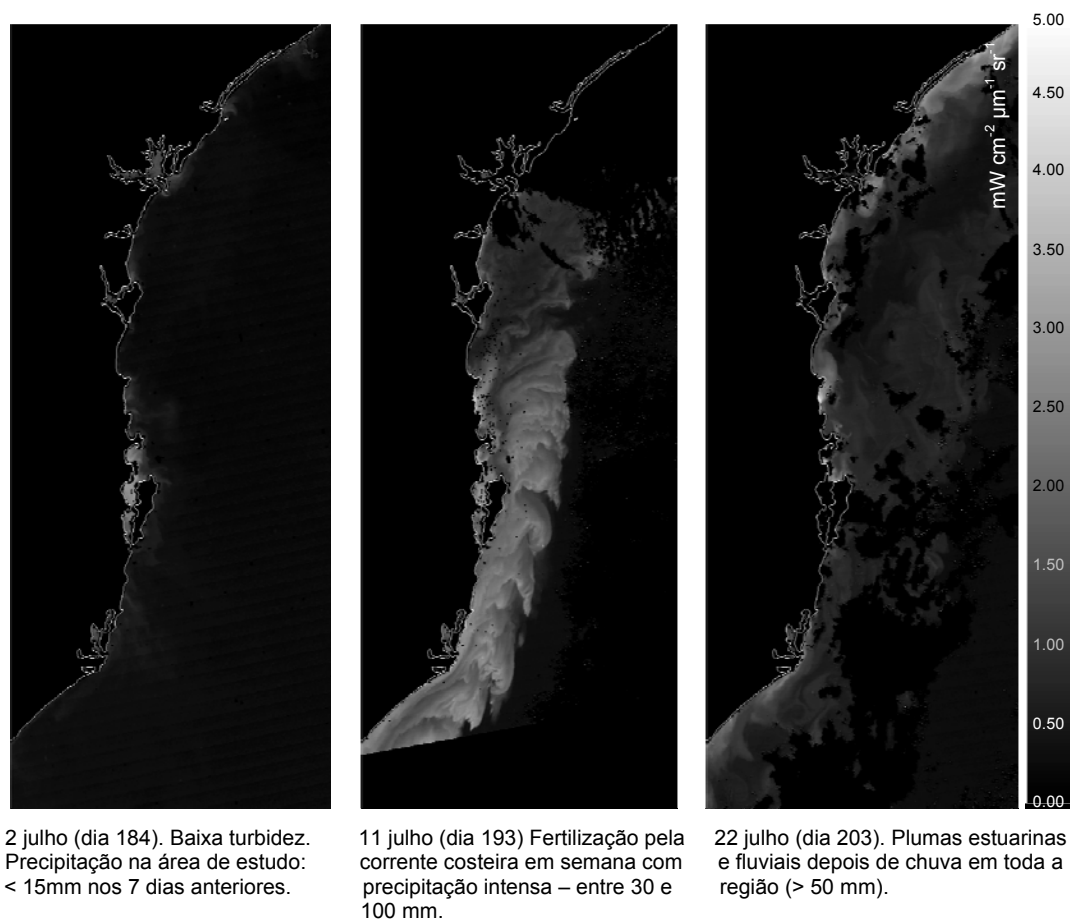


Figura 11. Variabilidade da turbidez costeira em um intervalo de 20 dias. Ano: 2004. Paleta de cores: níveis de cinza.

3.4 Variabilidade geral da turbidez ao longo dos anos

A Figura 12 também mostra exemplos da variabilidade da zona costeira. É comum sugerir tendências de comportamento de uma certa região frente às flutuações sazonais (por exemplo, o inverno é seco, o verão é chuvoso, etc). No entanto, não há como ser rígido na descrição desses processos quando o que se tem são, na maioria das vezes, imagens isoladas.

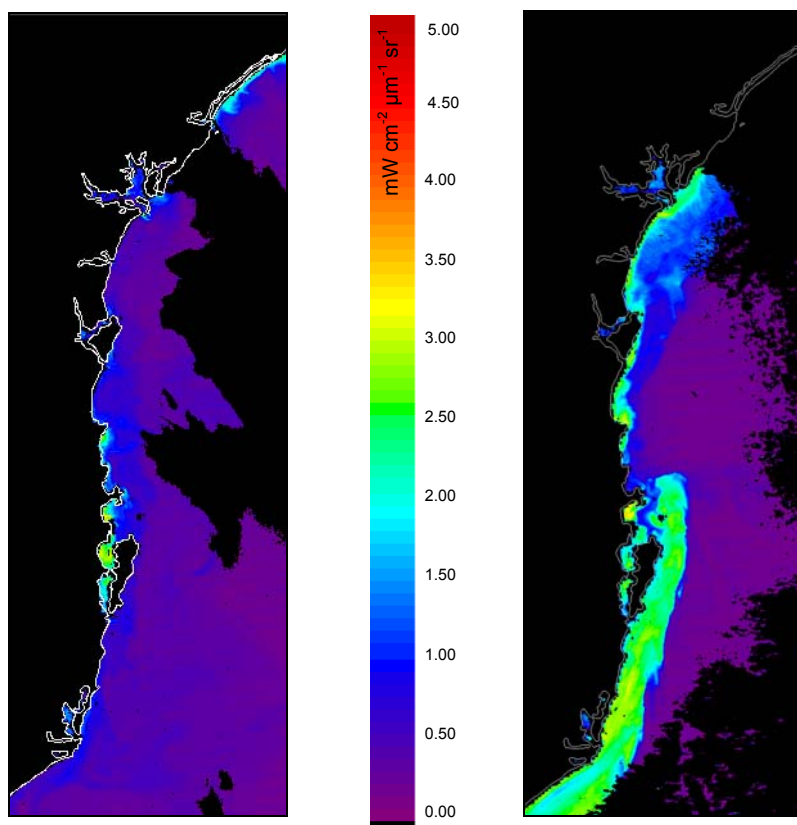


Figura 12. Imagens da mesma data, em anos diferentes, exemplificando sinais e fontes distintas de turbidez (30 de julho de 2005 e 2006). Paleta de cores: nL_w .

3.5 Observações de meso-escala

A variabilidade geral da cor do mar observada através da análise dos transectos e imagens foi associada a atuação de três processos ou situações ambientais: estiagens, épocas chuvosas e intensificação da corrente costeira trazendo águas do sul. Os dados de precipitação relativos ao período de cada uma das imagens comentadas estão agrupadas na Tabela 4 e a distribuição de nL_{w555} a partir dos transectos (exemplificando a Baía de Paranaguá, Itajaí e Laguna) é encontrada nas Figuras 13 a 18.

Tabela 4. Dados de precipitação para as imagens representando períodos de seca e chuva

Precipitação total nos 7 dias anteriores (mm)					
Data	DJ	Pontal	Itajaí	S. Fco	Imbituba
25-12-04	360	232.918	26.4	54.6	0.00
02-09-05	131	149.606	78.1	13.5	27.00
22-11-06	326	60.8	74.7	68.2	98.50
02-07-04	184	0.508	15.7	15.6	0.40
01-08-05	213	0.508	0.2	0.6	0.70
31-01-06	31	69.6	0.1	0	10.30

3.5.1 Estiagens

As imagens com os menores índices de turbidez, para os três anos, estão exemplificadas na Figura 19. Nos transectos (Figuras 13 e 14), elas representam as menores amplitudes de variação de nL_{w555} na costa, atingindo os níveis próximos do comum no oceano aberto logo após os primeiros quilômetros. Dados meteorológicos obtidos para o período indicam precipitação acumulada inferior a 16 mm durante os 7 dias anteriores a aquisição de cada imagem, com exceção da imagem de janeiro para Pontal do Sul (~70 mm). Sendo estas imagens representativas dos menores níveis de turbidez dos três anos amostrados, pode-se considerá-las modelos do comportamento de uma zona costeira onde a variação na cor do mar relacionada à descarga fluvial não é dominante (já que a turbidez continua presente, mas provavelmente relacionada a processos de ressuspensão e circulação costeira).

A situação do DJ 51 de 2006 apresentou os níveis de turbidez mais baixos e homogêneos em direção ao oceano de todas as imagens coletadas. No entanto, a condição do tempo na data da imagem não explica a baixa turbidez: ~ 100 mm nos 4 dias anteriores, registrados na estação de Pontal do Sul. É possível que a chuva ainda não tivesse sido sentida na costa, embora os quinze dias anteriores contribuíssem com um total de 305 mm de precipitação na região, e algum sinal dessa chuva anterior deveria ser observado.

3.5.2 Épocas chuvosas

Torna-se marcante e visível a contribuição dos rios e estuários e seus efeitos na zona costeira. A Figura 20 refere-se à imagens destaque quanto a influência do aporte de sólidos em suspensão na costa para os três anos considerados.

A intensidade da turbidez nessas situações pode ser observada através dos transectos nas proximidades das desembocaduras (Figuras 15 e 16). Em oposição aos padrões de distribuição nos períodos de baixa contribuição fluvial, percebe-se que os valores de nL_{w555} são mais altos, alcançam maiores distâncias e caracterizam plumas de maior magnitude, chegando por exemplo a 30 km em Paranaguá, na imagem de 2006, como já apresentado por NOERNBERG & FREITAS (2007).

TRANSECTOS – ÉPOCAS SECAS E CHUVOSAS

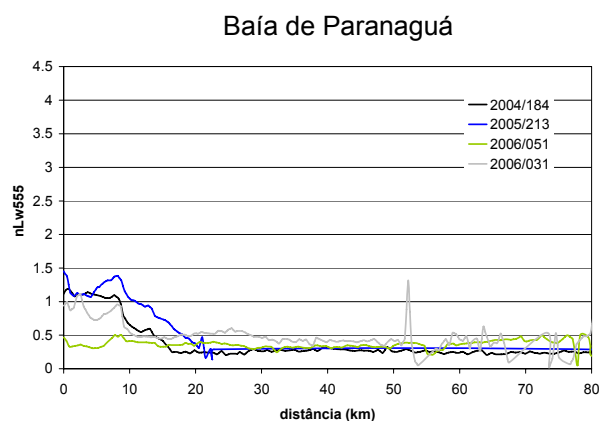


Figura 13. Turbidez para Baía de Paranaguá em período de seca, nos 3 anos.

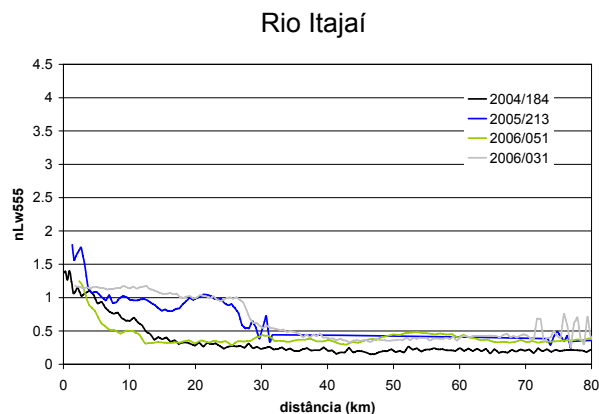


Figura 14. Turbidez para a desembocadura do Rio Itajaí em período de seca, nos 3 anos.

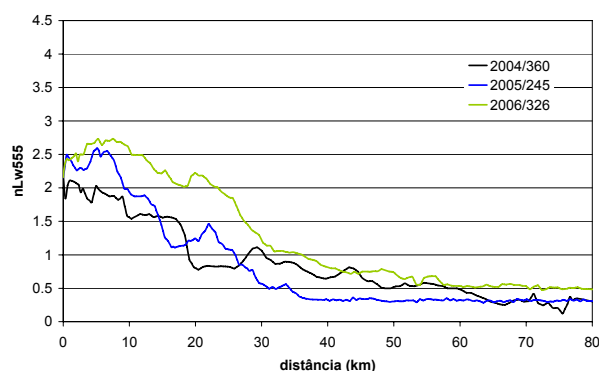


Figura 15. Turbidez para Baía de Paranaguá em período chuvoso, nos 3 anos.

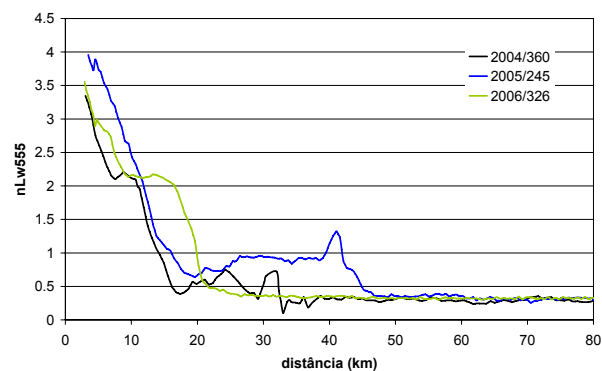


Figura 16. Turbidez para a desembocadura do Rio Itajaí em período chuvoso, nos 3 anos.

TRANSECTOS: FERTILIZAÇÃO PELA CORRENTE COSTEIRA

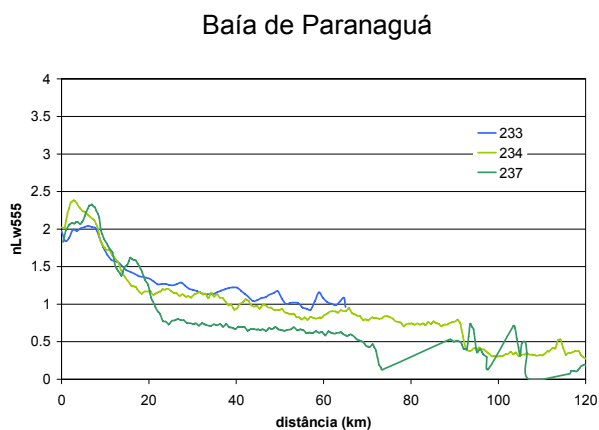


Figura 17. Fertilização pelo Rio da Prata observada no transecto da Baía de Paranaguá, dias 233, 234 e 237 de 2006.

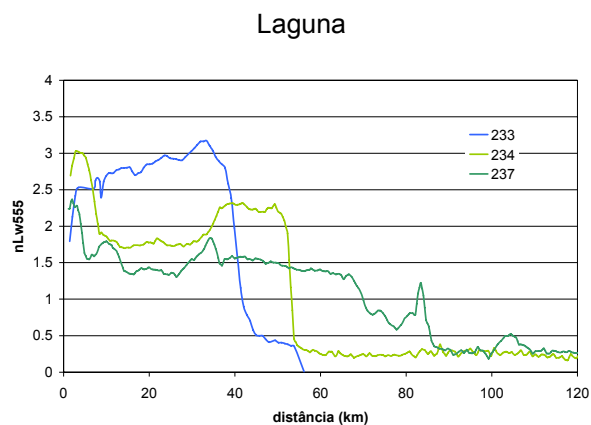


Figura 18. Fertilização pelo Rio da Prata observada no transecto de Laguna, dias 233, 234 e 237 de 2006.

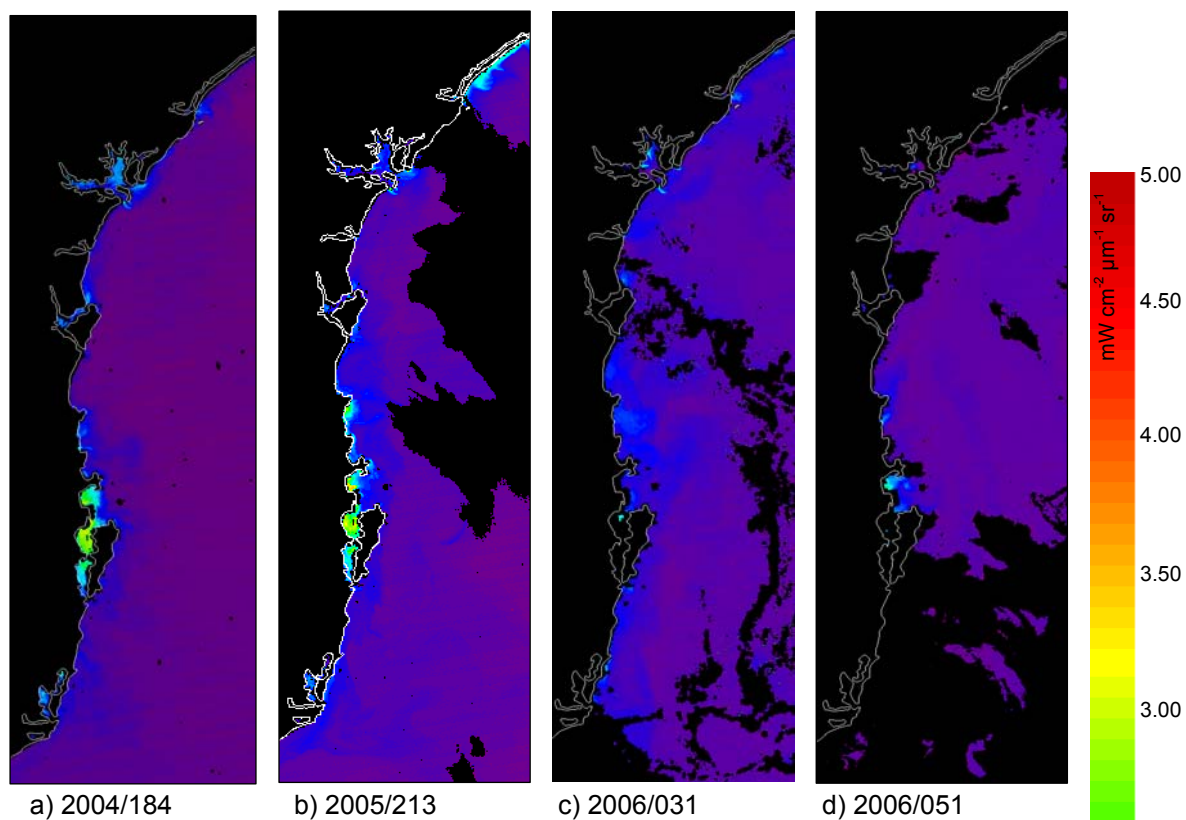


Figura 19. Imagens com os valores de nL_{w555} mais baixos para o período estudado, coincidente com épocas secas (exceção imagem do dia 051).

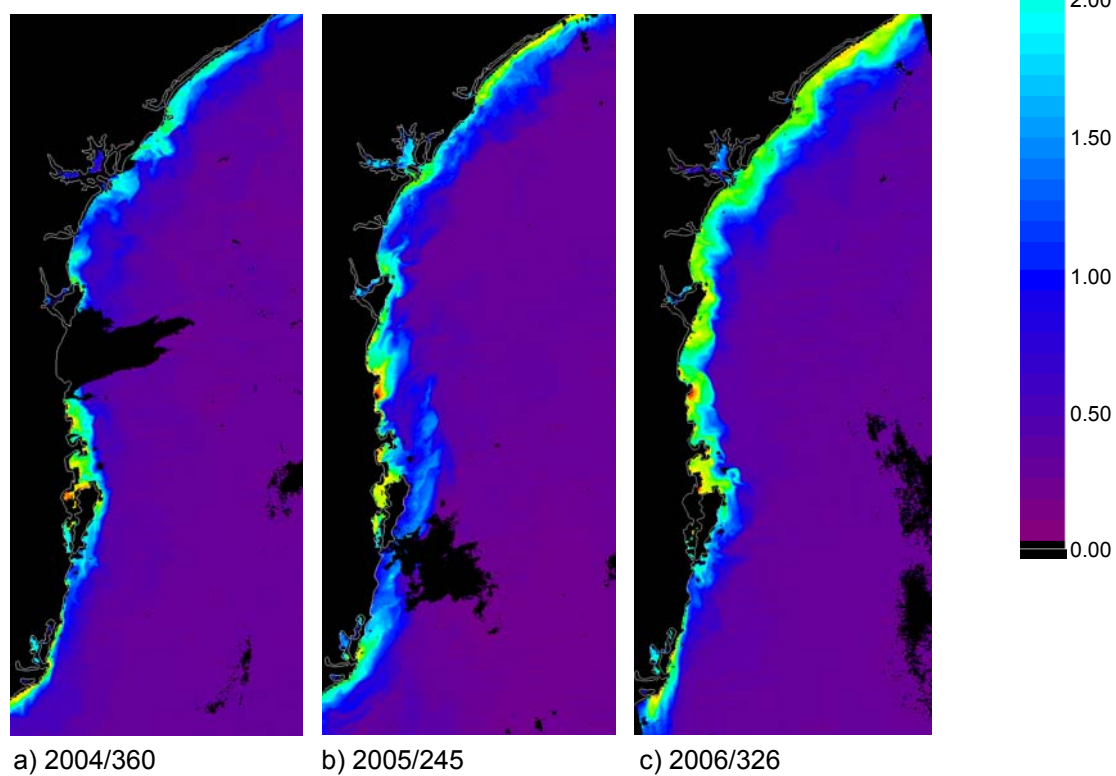


Figura 20. Imagens com altos níveis de nL_{w555} após registro de chuva forte na região.

3.5.3 Intrusão da Corrente Costeira

Uma massa de água extensa, relativamente homogênea, caracterizada por níveis de radiação elevados, próxima a costa até a latitude de Florianópolis e se distanciando dela conforme seu deslocamento para norte, foi observada em diversas imagens durante os meses de outono e inverno dos três anos, resultando em uma das feições mais observadas na série disponível. Aparentemente, essa massa d'água corresponde a uma soma dos deságües do Rio da Prata e da Lagoa dos Patos que é transportada em direção norte por uma corrente costeira, intensificada nessas épocas devido à incidência de ventos do quadrante sul, e já identificada em outros trabalhos, como em NOERNBERG *et al.* (2007), SOUZA & ROBINSON (2004), SILVA JR *et al.* (1996) e CIOTTI *et al.* (1995). SOUZA & ROBINSON (2004) denominaram essa corrente “Corrente Costeira do Brasil”. A presença dessa água, menos salina e mais fria (Figura 21) pode implicar em grandes alterações da biologia local, como observado por PEREIRA (2006) e BRANDINI (1986), tanto pela carga de sólidos em suspensão que adiciona ao sistema quanto pela fertilização que possibilita, sendo seu estudo e monitoramento essencial do ponto de vista ecológico e econômico.

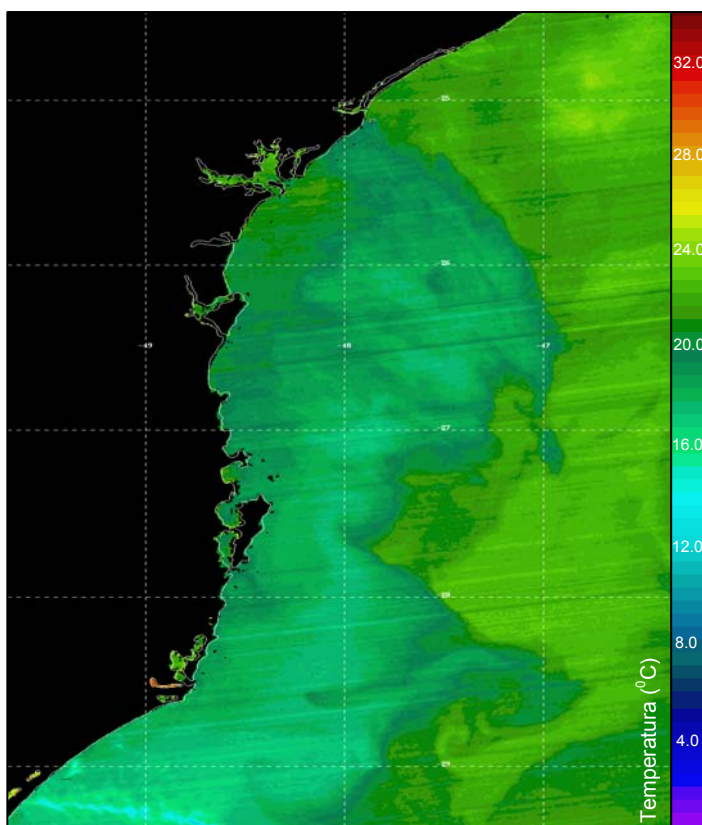


Figura 21. Imagem MODIS-Aqua de temperatura da superfície do mar (dia 213/2006)

A partir dos transectos, a penetração dessas águas foi caracterizada por picos na intensidade de nL_w555 além do padrão de atuação dos deságües costeiros locais, e normalmente a partir dos 20 km da costa.

Dinâmica da intrusão

Considere-se o transecto mais ao sul da área de estudo (Laguna), o primeiro a receber influência dessa descarga remota. Através das imagens, e devido à própria geografia da costa, percebe-se que essa área não contribui significativamente com aportes continentais, de maneira que grande parte da variabilidade de turbidez encontrada após os primeiros quilômetros está associada à presença sazonal das águas carregadas pela corrente costeira.

Em 2006, o sensor MODIS registrou para este e demais transectos a intrusão ao longo de uma semana, nos dias 233, 234 e 237 (21, 22 e 25 de agosto) – transectos de Laguna e Paranaguá estão nas Figuras 17 e 18, quando as águas turvas alcançaram 70 km em direção ao oceano. As imagens referentes a essas datas, e uma do dia 29 (dia 241, quando a área de Laguna encontra-se sob nuvens) foram utilizadas para avaliar o desenvolvimento, dissipação e persistência da massa em um curto intervalo de tempo (Figura 22).

A imagem do dia 21 reflete a consequência da presença da massa d'água já ultrapassando a região de Florianópolis, possivelmente posterior a outros fenômenos de intrusão, o que se percebe ao verificar os sinais mais fracos (teoricamente mais antigos) de dissipação da turbidez na plataforma continental paranaense. Um desses eventos aconteceu no dia 211 (30 de julho), e foi registrado pelo sensor (Figura 23). Essa imagem auxilia no entendimento do processo pelo qual a massa d'água avança sobre a plataforma continental, apesar de parecer menos intenso em relação ao capturado pela imagem de agosto. O deslocamento se dá acompanhando o traçado da linha de costa e a isóbata de 50 metros, relativamente próxima a costa, ao mesmo tempo em que o padrão de ventos locais e a própria velocidade de deslocamento devem confinar a massa nessas áreas. Rumo a norte, o primeiro obstáculo que encontra é o Cabo de Santa Marta, ao sul de Laguna, possibilitando a ocorrência de ressurgências (mudança no traçado da linha de costa + ventos + topografia). Ao contornar Laguna, encontra a ilha de Florianópolis, que funciona como uma barreira capaz de forçá-la a desviar seu rumo inicial. Unindo a inércia do movimento, dependendo da intensidade dos fatores responsáveis pela intrusão, a mudança do traçado batimétrico (já que, nessa região, tem-se o início do alargamento da plataforma), a massa principal tende a se afastar da costa acompanhando a isóbata de 50 metros, enquanto parte dela também se espalha por toda a plataforma.

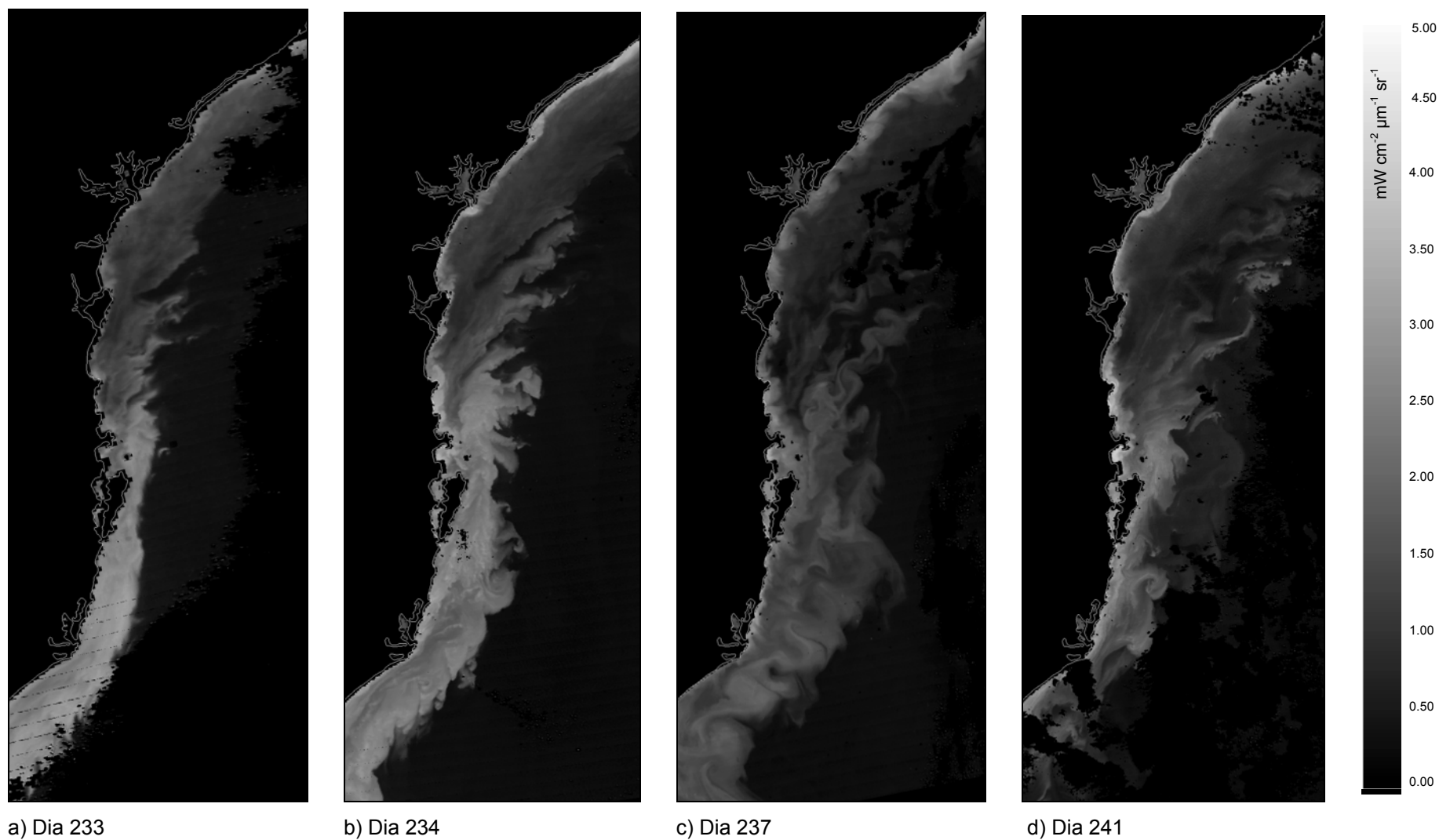


Figura 22. Seqüência de imagens representando a evolução da fertilização sazonal pelas águas do sul do Brasil (Período: Agosto de 2006).

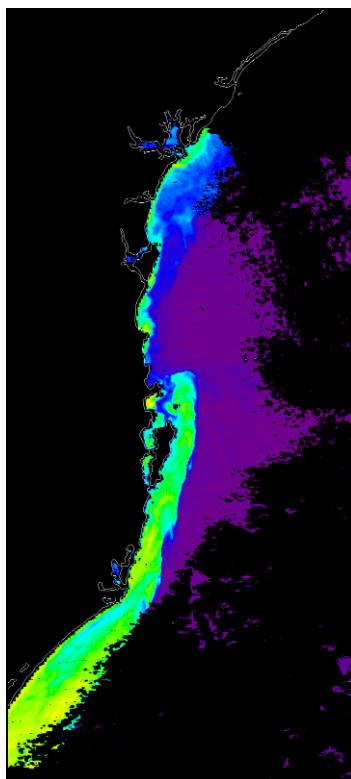


Figura 23. Aproximação da corrente costeira no dia 211 (30 de julho de 2006).

Na imagem do dia 21 de agosto, foi registrado o desprendimento e infiltração de porções da massa d'água em direção ao oceano, principalmente na latitude entre Itajaí e São Francisco, caracterizadas pela maior intensidade de nL_w555 e podendo estar relacionadas ao início de um processo de fertilização. No dia 22, apesar de a radiância estar menos intensa na altura de Laguna, os processos encontram-se no seu ápice ao norte da área, estando a provável fertilização mais intensa e já na altura da Baía de Paranaguá, com alguns ramos ultrapassando a isóbata de 100 metros. O dia 25 é caracterizado pela dissipação dos sinais da turbidez ao sul de Florianópolis em direção ao oceano e pela clara desaceleração dos processos de entrada da água na região. A maior velocidade da porção externa da corrente (mais afastada da costa), como apontado por SOUZA & ROBINSON (2004), possibilita o aumento da fricção lateral com a Corrente do Brasil, a qual flui de norte para sul próximo ao talude, resultando na formação de vórtices e meandros, principalmente nos ramos desprendidos a partir de Florianópolis. Estes devem, por sua vez, otimizar a distribuição e utilização de nutrientes na área. Em 29 de agosto (dia 241), apenas processos relativos a espalhamento e dissipação podem ser percebidos, embora uma feição oceânica com núcleo aparentemente bastante produtivo resultante do desprendimento de um sub-ramo ainda é visível e persistente na latitude entre as baías de São Francisco e Guaratuba.

Uma questão a ser respondida refere-se à importância de um evento singular, em pulso e de grande intensidade como o descrito acima modificar as características físicas, químicas e biológicas do oceano se comparado às consequências de um processo mais fraco, mas constante, no mesmo local. As imagens dos dias 246 e 255 (dias 3 e 12 de setembro de 2006; Figuras 24 e 25) podem refletir algumas dessas situações.

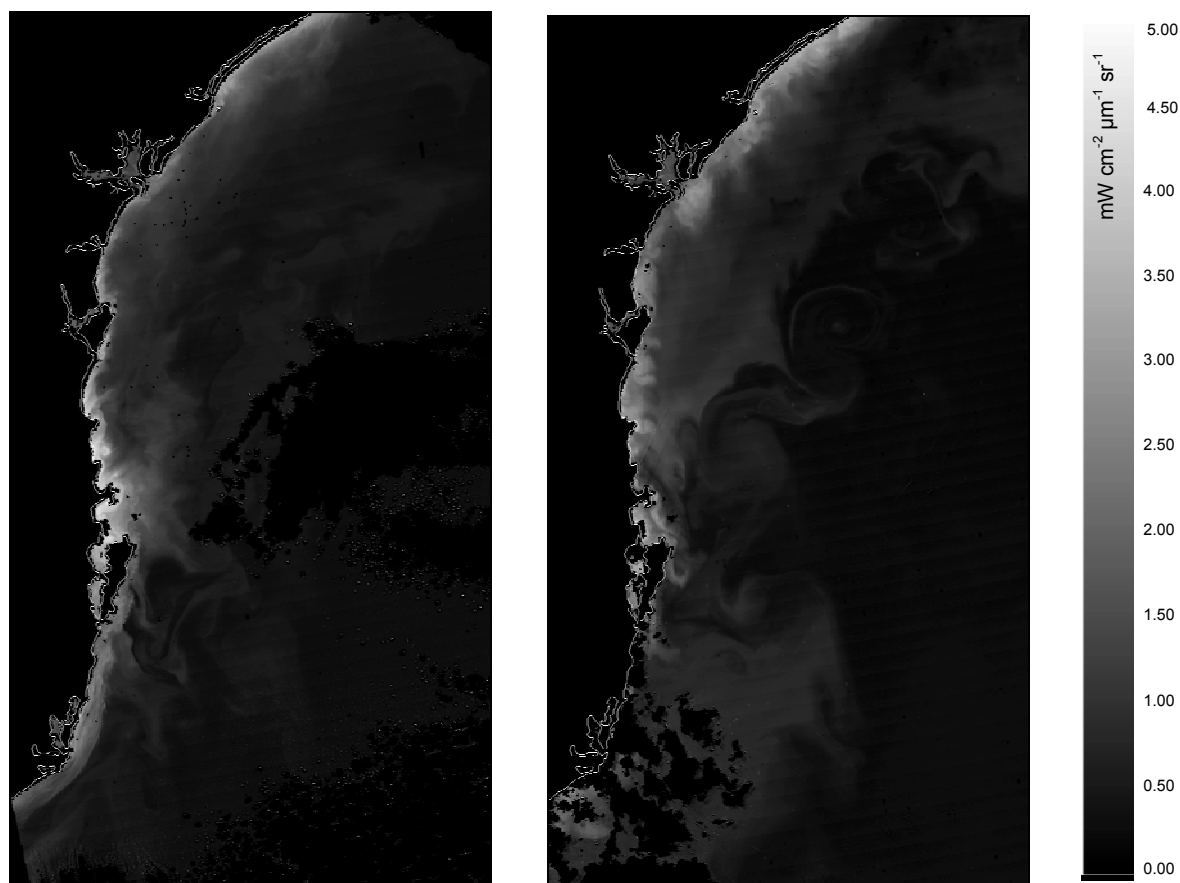


Figura 24. Fertilização da costa no dia 246 Figura 25. Fertilização da costa no dia 255

Nessas imagens, a quantidade de água trazida pela corrente costeira é consideravelmente menor. Ainda assim, percebe-se a existência de feições associadas a atividade fitoplanctônica ao longo da plataforma. Deste modo, é possível que uma constante entrada de água e nutrientes, com menor intensidade de penetração e menor capacidade de mistura imediata faça com que os processos aconteçam mais lentamente e sejam mais duradouros. No entanto, análises mais cuidadosas deveriam ser feitas para compreender esses processos.

3.6 Interação de processos: Corrente Costeira e Descargas Fluviais

Em especial, o ano de 2005 apresentou-se como o mais chuvoso dos anos amostrados (um resumo do volume de precipitação anual ao longo da área de estudo encontra-se ao final do ANEXO I), de modo que os sinais de uma das grandes precipitações do período coincidiu com um forte evento de fertilização pelas águas remotas, o qual influenciou até mesmo a zona costeira mais recuada do Paraná, processo esse que foi capturado pelo sensor MODIS. Assim, a relação entre ambos os processos, entre os dias 10 e 12 de agosto (223 a 225) pôde ser avaliada (Figura 26 – a,b e c).

A partir da observação dos transectos de Cananéia, Paranaguá, São Francisco e Itapocu percebe-se que os três perfis destacados correspondem a esses dias, com valores muito altos e ocupando toda a plataforma interna (Figura 27).

Na primeira imagem percebe-se um fluxo intenso, praticamente unidirecional e melhor delimitado na costa. No dia seguinte, observa-se a formação de meandros, provavelmente consequência da fricção com as demais massas d'água. Ao mesmo tempo, percebe-se a influência dos rios na região, cujos fortes deságües já parecem mais influentes na delimitação dos processos costeiros, conforme também ocorrem processos de mistura. Segundo os dados de precipitação, houve uma forte chuva em toda a região entre os dias 219 e 222 (entre 100 e 200 mm). Como foi visto anteriormente, os sinais de uma precipitação na região de São Francisco e Pontal do Sul só parecem ser observados cerca de 4 a 6 dias após sua ocorrência, e após 3 dias em Itajaí. Assim, pôde-se explicar a turbidez na costa pelo aporte fluvial do dia 224. No dia 225, os sinais da precipitação já não foram tão aparentes. A análise dos transectos permite observar a diminuição gradativa dos níveis de nL_{w555} ao longo dos três dias. Visualmente, esse gradiente também é percebido em conjunto com a leve dissipação em direção ao oceano.

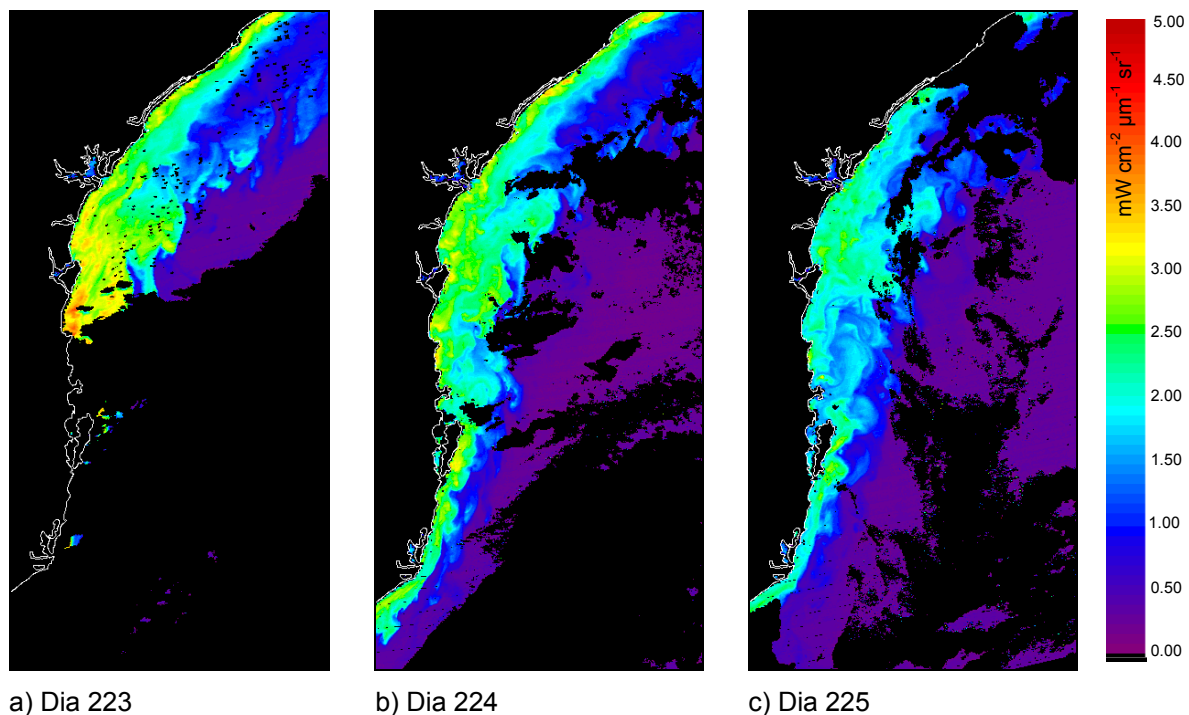


Figura 26. Propagação da Corrente Costeira e fertilização entre os dias 10 e 12 de agosto de 2005 (223 a 225).

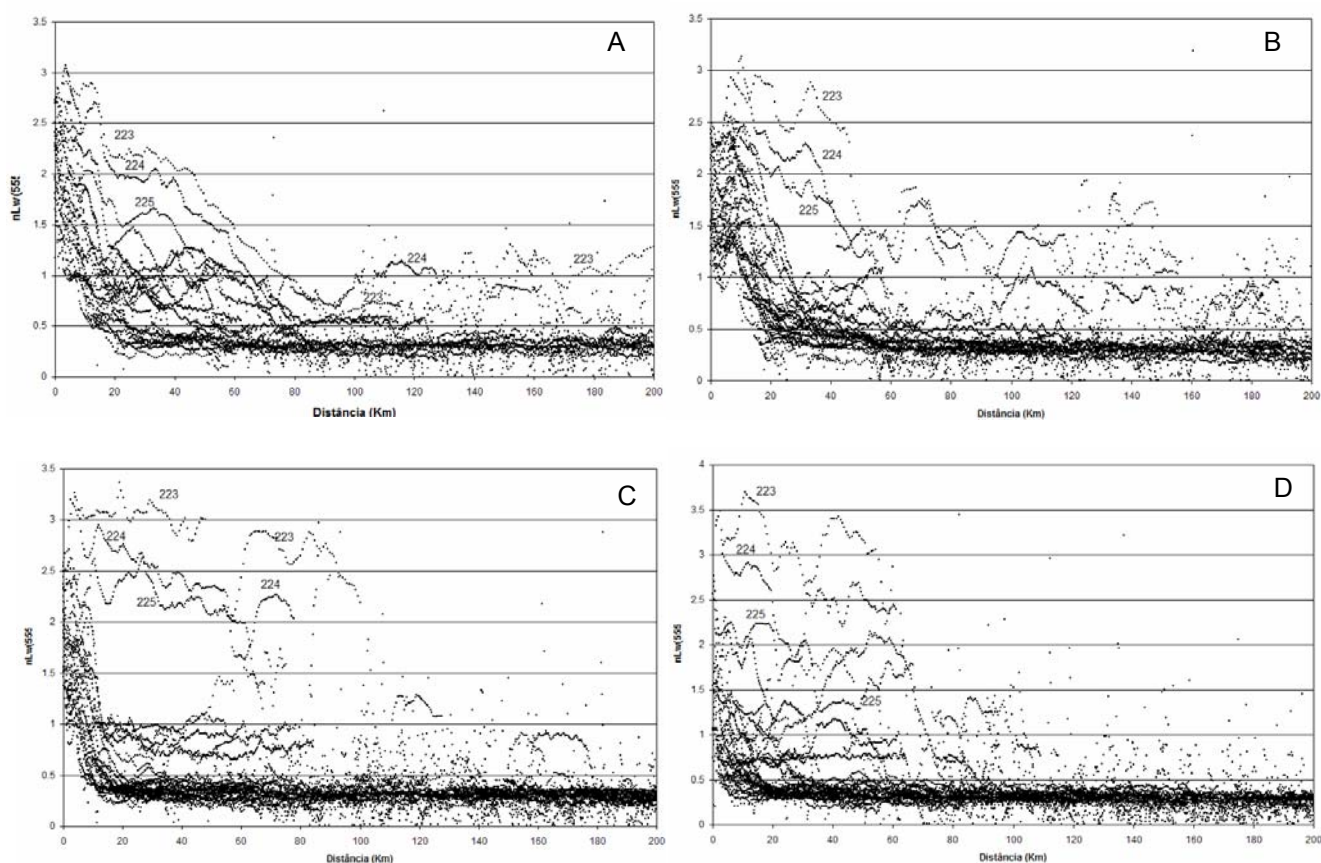


Figura 27. Distribuição de nL_{w555} em 2005 para os transectos Cananéia (A), Paranaguá (B), São Francisco do Sul (C) e Rio Itapocu (D). Observar a condição de fertilização na região, destacada nos altos níveis de nL_{w555} das datas 223, 224 e 225.

3.7 Variabilidade da turbidez em escala regional

Três regiões foram selecionadas para a análise das variabilidades ambientais e processos dominantes: Rio Itajaí, região de Tijucas e Florianópolis, e Baía de Paranaguá. As análises foram baseadas na observação dos ventos das estações de Pontal do Sul, Itajaí e Ilha do Arvoredo, por serem os mais completos (Figuras 36, 37 e 38, pág. 52). Os dados de precipitação serão apresentados ao longo dos resultados.

3.7.1 Rio Itajaí

Como uma das porções mais dinâmicas da área de estudo, o aporte do Rio Itajaí proporcionou a visualização de diversos processos, do ponto de vista das condições pluviométricas e da incidência de ventos durante o período de aquisição das imagens.

Uma amostra dessa variabilidade será apresentada a seguir (Figura 28 – a até o). Abaixo, os dados de precipitação referentes às imagens comentadas (Tabela 5). Como os dados de ventos para Itajaí possuem falhas ao longo dos três anos, consideraram-se também os dados da Ilha do Arvoredo.

Tabela 5. Dados de precipitação para Itajaí no período anterior a aquisição das imagens.

Data	DJ	Dia anterior	2 dias antes	3 dias antes	4 dias antes	5 dias antes	Acumulado
16-02-04	47	5.20	13.70	7.60	1.40	0.30	28.20
23-03-04	83	0.00	0.00	5.40	24.20	0.10	29.70
30-03-04	90	19.50	21.50	0.00	0.00	0.00	41.00
01-04-04	92	0.00	0.00	19.50	21.50	0.00	41.00
08-04-04	99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25-05-05	145	18.90	0.00	0.00	14.80	21.20	54.90
29-05-05	149	0.20	0.00	0.00	0.00	18.90	19.10
02-09-05	245	10.40	43.10	24.60	0.00	0.00	78.10
19-12-05	353	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
08-03-06	67	0.00	0.00	0.00	0.00	3.70	3.70
14-04-06	104	0.00	0.00	0.00	3.20	13.00	16.20
12-05-06	132	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01-06-06	152	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03-09-06	246	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28-10-06	301	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

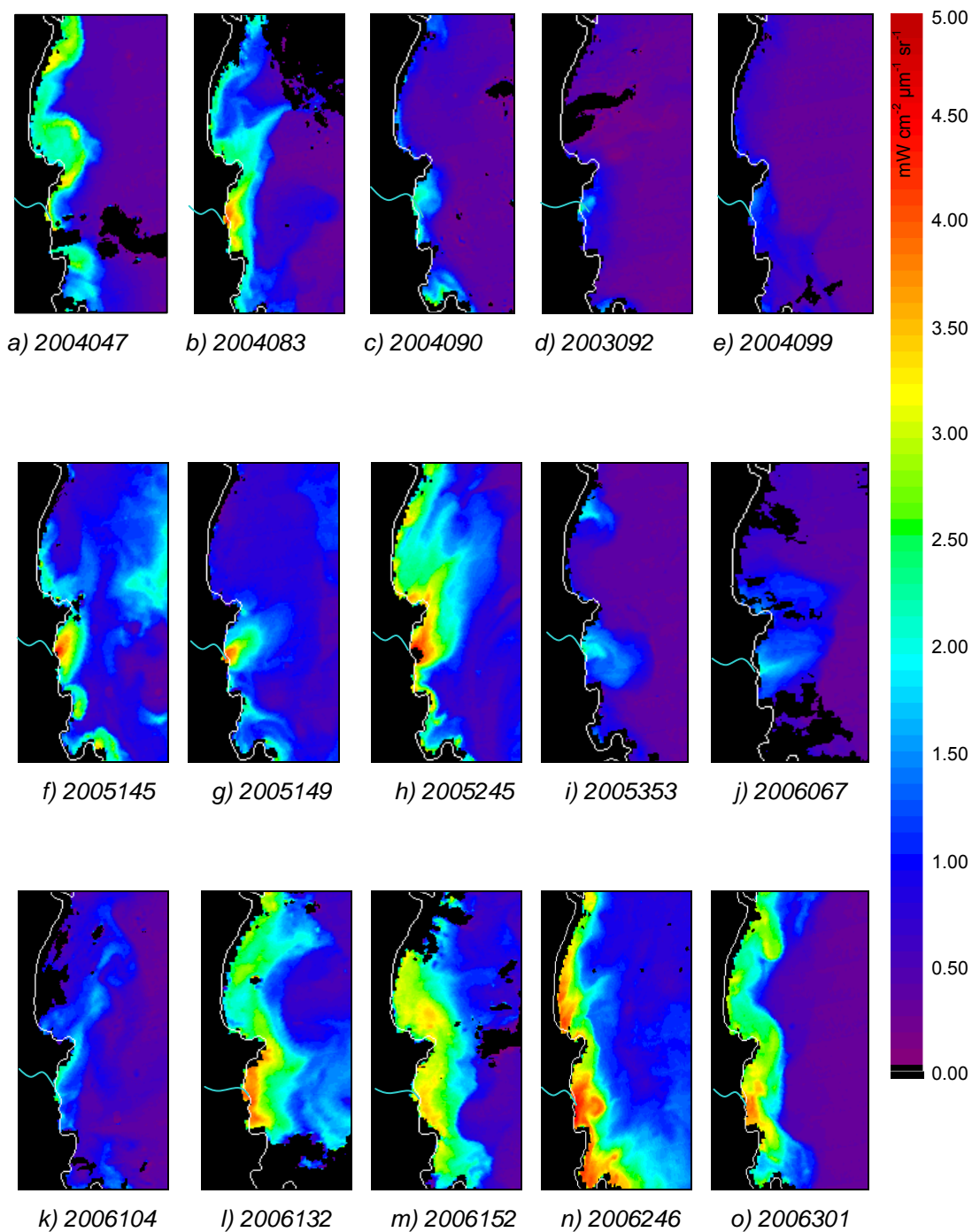
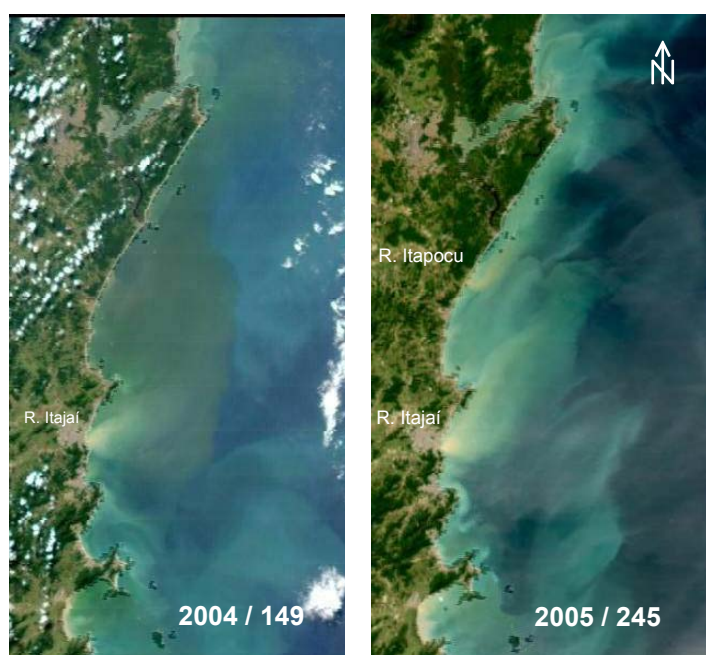


Figura 28. Variabilidade da cor do mar (turbidez) na região de Itajaí.

Duas imagens chamam a atenção devido à configuração clássica de pluma que apresentam, a formação de um gradiente marcante de turbidez a partir da desembocadura do rio em direção ao oceano, caso das datas 145 e 149. O motivo da formação da pluma deve estar relacionado à chuva registrada nos dias anteriores a aquisição da primeira imagem. Juntas, as duas possibilitaram o acompanhamento do processo de dissipação da pluma, já que dias secos caracterizaram o intervalo entre ambas. O padrão de dispersão da

turbidez próximo a costa está provavelmente relacionado à atuação da corrente de deriva litorânea, que na região é de sul para norte (NOERNBERG, 2001). Esse comportamento foi percebido na maioria das imagens, principalmente quando na ausência de fortes ventos, embora a localização geográfica da área parece fornecer proteção à incidência direta de ventos. A imagem do dia 245 concorda com essa observação, já que se percebe a dissipação da turbidez em direção norte, quando nem a intensidade nem a orientação dos ventos parecem ser suficientes ou condizentes com o padrão de circulação, embora a fertilização da costa pela corrente costeira comum nessas épocas possa intensificar esses processos. As Figuras 29 e 30 fornecem uma melhor visualização desse padrão de movimentação.



Figuras 29 (2004/149) e 30 (2005/245). Perceber os tons amarronzados, característicos de materiais terrígenos, deixando os rios e incorporando o padrão de circulação local. Imagens MODIS composição colorida (RGB) 250m.

A imagem do dia 245 também é interessante por possibilitar a visualização da contribuição do Rio Itapocu, ao norte do Itajaí, no aporte de sólidos em suspensão na costa, já que raras foram as imagens em que essa contribuição foi efetivamente observada.

Outras duas datas coincidentes com período chuvoso apresentam feições de pluma e turbidez visíveis: dias 47 e 83 do ano de 2004 (Figuras 28a e 28b).

O contorno da linha de costa parece fazer com que, na tendência de dispersão para norte acentuada pela atuação de ventos do quadrante sul nos 10 dias anteriores (média de até 6 m/s), haja o aprisionamento de águas túrbidas acima da desembocadura do rio Itajaí (o pontal parece colaborar com a dissipação em direção ao oceano, enquanto o embaçamento que segue parece favorecer a deposição e o aprisionamento), como demonstra a imagem do dia 47. No geral, esse padrão se repete em diversas das imagens observadas.

A chuva resultante na turbidez observada do dia 83 antecedeu a passagem do Furacão Catarina. Uma idéia geral da condição atmosférica da época pode ser vista na Figura 31.

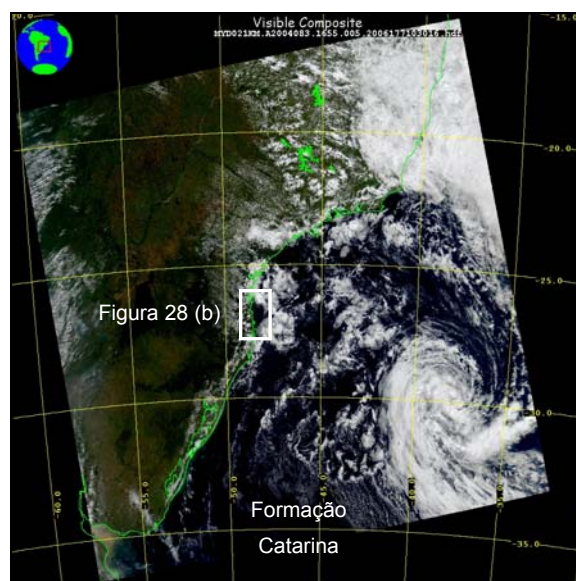


Figura 31. “Quick Look” MODIS Aqua do dia 83 (23/03/04)

O transporte de Ekman associado aos ventos de NE do período e à localização da área de estudo (um embaçamento), podem ser responsáveis pela distribuição da turbidez ao longo da costa nesta data. DZWONKOWSKI & YAN (2005), em um estudo similar, inferiram que as plumas poderiam “responder à ação dos ventos em direção a costa com a formação de massas estreitas e aceleradas, ou então massas amplas e lentas com tendência a advecção com a incidência de ventos em direção ao oceano”.

O “jato” de turbidez observado pode estar ligado tanto à deriva da descarga do Rio Itajaí quanto ao aprisionamento de material da desembocadura sul da Baía de São Francisco e do Rio Itapocu facilitado pela atuação dos ventos de NE. De qualquer maneira, o pontal rochoso ao norte do Rio Itajaí parece ser o responsável pelo redirecionamento da turbidez em direção ao oceano.

Através dos dados meteorológicos, percebe-se no dia 87 uma mudança brusca na direção dos ventos, de norte para sul, caracterizando a presença do ciclone Catarina. Precipitação de 41 mm foi registrada nos dois dias seguintes a passagem do ciclone, sendo que imagens foram adquiridas nos dias 90 e 92. Comparando as imagens, percebe-se a rápida dissipação dos sinais de turbidez, provavelmente consequência da própria passagem e persistência do sistema ciclônico na área, cuja característica é a de tirar água da costa, podendo facilitar, portanto, a mistura e a dispersão. O período seco que seguiu é representado pela imagem do dia 99 (Figura 28e), quando os ventos começam a tomar a direção nordeste.

Um dos fatores mais interessantes observados, e que adicionam ainda mais complexidade quando se tenta obter dados quantitativos e comparativos é que, quanto mais longo for um período seco antecedente a uma imagem, maior parece ser a capacidade de um pequeno volume de precipitação resultar em valores intensos de turbidez ou nL_w555 na costa. Isso pode estar relacionado à mudança no grau de compactação do terreno por onde a água escoar, à quantidade de água nos estuários e rios (maior evaporação, aumentando a concentração de sólidos em suspensão por volume de água), à transparência da água costeira (que, ao receber uma quantidade de material terrígeno mudará de coloração mais rapidamente do que se a água já estivesse dominada por processos de turbidez), ao potencial de infiltração do terreno, às características do solo, etc. Assim, não se tornou incomum encontrar casos de plumas visíveis, em épocas secas, com intensidade próxima (ou mesmo maior) àquela gerada por tempestades, passagem de frentes, etc. Os dias 353 de 2005, e 067 e 104 de 2006 são bons exemplos (Figuras 28i a 28k).

Nos três casos, o período de estiagem anterior às datas foi intenso, o que deve ter transformado as condições ambientais da região, como citado anteriormente. Assim, o que se percebe pode ser a influência natural do deságüe contínuo do Rio Itajaí, melhor destacado nesses períodos secos. A imagem do dia 104 é um exemplo do papel que uma pequena chuva pode assumir na modificação da dinâmica costeira em períodos secos, fazendo com que os níveis de turbidez dessa imagem se diferenciem das demais. Nesse dia, a atuação de ventos do quadrante sul pode ter auxiliado na mistura, bem como parece ter influenciado na orientação do fluxo para norte. Nos dois casos anteriores, ventos fracos de nordeste dominaram, o que corrobora o padrão de dispersão dos sólidos em suspensão esperado: em direção ao oceano e dissipando para norte conforme a atuação da corrente de deriva costeira.

O ano de 2006 foi considerado bastante seco e, surpreendentemente, foi também o ano em que mais processos de turbidez foram visualizados. Os altos níveis de nL_w555 observado nos dias 132 e 152 devem estar relacionados a fertilização pela corrente costeira na região, registrado uma semana antes, no dia 125. A situação de seca do período e a conformação do relevo e linha de costa podem ter facilitado a permanência da matéria orgânica e inorgânica na região. Na primeira imagem, percebe-se o limite da turbidez acompanhando o provável contorno do fundo, ao ponto que na segunda imagem observa-se esse mesmo padrão mas com tendência a dissipação em direção ao oceano e preenchimento dos embaixamentos. Em ambos os casos, a ressuspensão parece ter importante papel, na medida em que maior é a interação quanto menor for a coluna d'água.

O mesmo processo pode ter levado a imagem do dia 246 apresentar elevados índices de nL_w555 . A diferença na intensidade da turbidez em relação às imagens anteriores pode estar relacionada à época do ano, já que é neste período que se observa as

fertilizações de origem remota mais intensas (no caso, o início dessa intrusão foi registrado 10 dias antes), o que pode significar maior carga de sólidos suspensos chegando na zona costeira.

A chuva mais intensa do ano de 2006, em Itajaí, ocorreu no começo do mês de outubro: 250 mm. A turbidez na imagem do dia 301 (final do mês) pode ser decorrente da permanência dos sinais dessa chuva, intensa e rápida, que seguiu um período muito seco. A única imagem disponível próxima a essa data que poderia ajudar a explicar o comportamento da turbidez é a do dia 326, já apresentada anteriormente (Figura 20c), mas que, no entanto, foi coincidente com um evento de chuva forte que modificou diretamente a coloração do oceano.

3.7.2 Proximidades do Rio Tijucas e a Ilha de Florianópolis

Observando as imagens, a desembocadura do Rio Tijucas, por estar localizada em um embaimento entre dois pontais rochosos, parece favorecer o aprisionamento de águas turvas por períodos mais extensos ao que se esperaria na relação variação da descarga – tempo de permanência e dissipação da turbidez na costa. Por vezes, é adicionado mais complexidade ao sistema com o redirecionamento e aprisionamento de sólidos suspensos da parte norte da Ilha de Florianópolis, formando um imenso bolsão de águas turvas entre o pontal do Rio Tijucas, Florianópolis e a ilha do Arvoredo, que também parece funcionar como obstáculo a dispersão da turbidez na direção norte-sul (Exemplos na Figura 32).

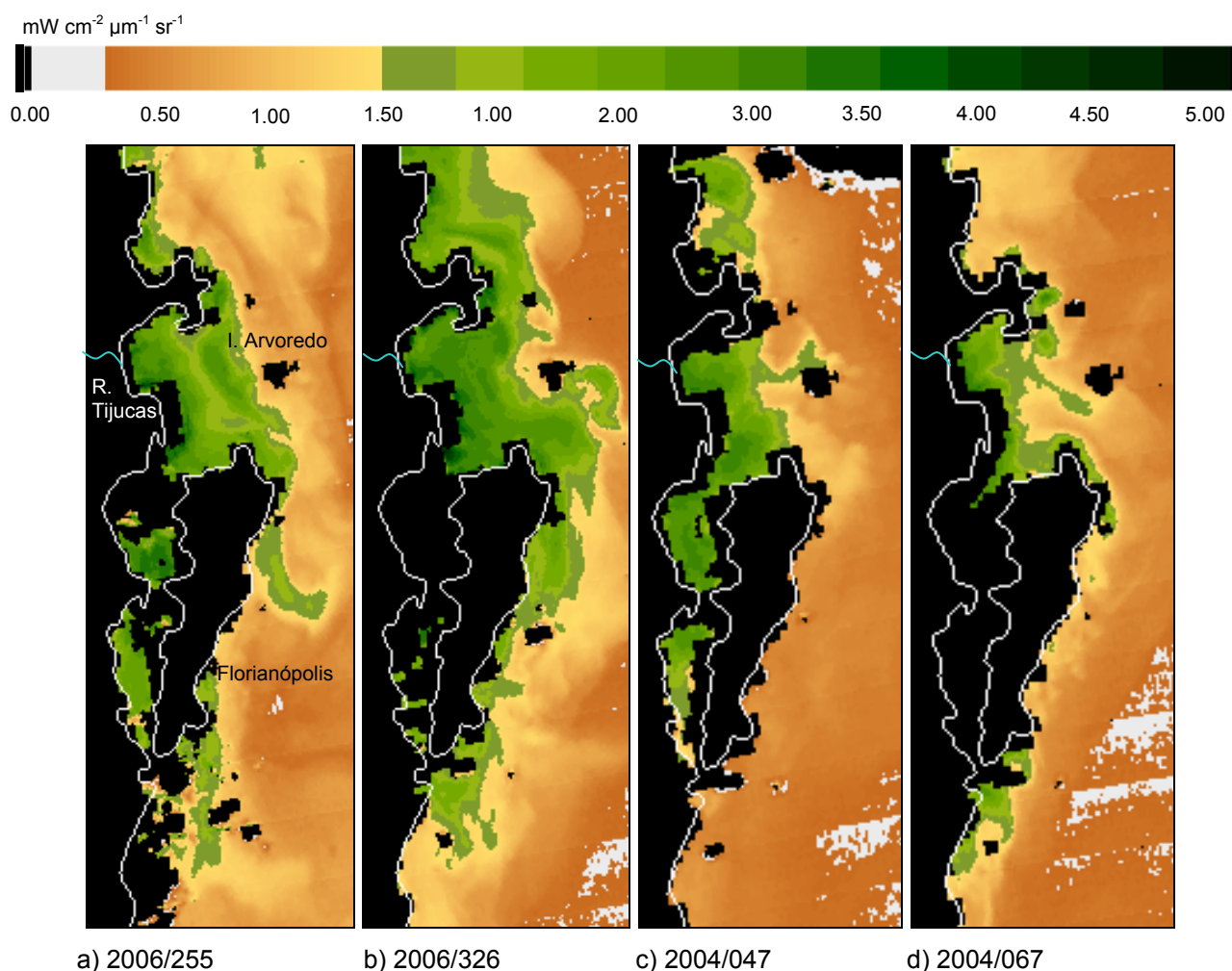


Figura 32. Complexidade óptica e feições ligadas ao aprisionamento de sólidos em suspensão entre o norte de Florianópolis, Ilha do Arvoredo e Tijucas. Paleta de cores SeaDAS: NDVI.

Os transectos recolhidos ao longo dos três anos para essa região permitiram verificar que a influência fluvial é percebida apenas nos primeiros 10 km da água costeira, provavelmente também reflexo do baixo potencial hídrico do rio. Após essa distância, os picos nos valores de nL_w555 são oriundos tanto do material que fica aprisionado entre Tijucas e Florianópolis quanto das inserções de águas mais frias vindas do sul do país, o que confere a região uma grande complexidade do ponto de vista de diferenciação óptica dos tipos de água presentes. Visualmente, percebe-se uma contribuição significativa e característica do rio nas datas 193 e 195 (12 e 14 de julho de 2005), facilitada pela ausência de fontes externas de turbidez próximas a área (Figuras 33 e 34).

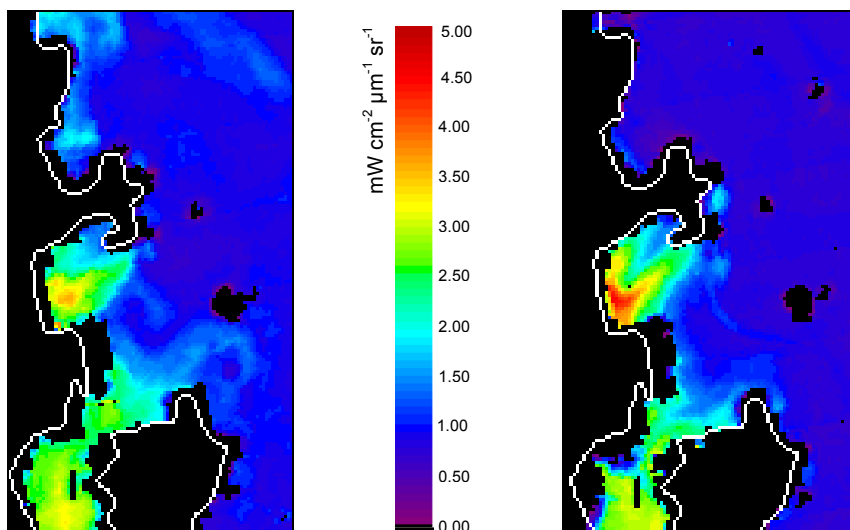


Figura 33. Pluma do Rio Tijucas no dia 193

Figura 34. Pluma do Rio Tijucas no dia 195

A quantidade de material em suspensão (e provavelmente poluição urbana) na região no entorno de Florianópolis é tão intensa que, em alguns casos, a retirada de informação dessas áreas durante o processamento foi prejudicada, caracterizando-as como terra, mascarando as informações e inutilizando pontualmente essas imagens (Figura 32 – a, b e d). Esse efeito vem sendo documentado por cientistas que trabalham com regiões extremamente túrbidas ou poluídas, entre estes CHEN *et al.* (2007) e RUDDICK *et al.* (2000), e diversas alternativas vem sendo estudadas para minimizar essas relações mal interpretadas, como a implementação do algoritmo de correção MUMM - *The Management Unit of the North Sea Mathematical Models* (RUDDICK *et al.*, 2006), ainda em fase de teste para o Atlântico Norte.

Outro fator a considerar é a resposta espectral do fundo nessas regiões, de modo que talvez não seja apenas a quantidade excessiva de sólidos em suspensão o responsável pela falha, mas sim a reflexão do fundo arenoso em áreas muito rasas, caso das Baías Norte e Sul de Florianópolis.

Florianópolis também é um bom exemplo de barreira geográfica capaz de apresentar o "Efeito Ilha", devido a sua proximidade com a costa. Os pontais rochosos e a exposição da ilha à circulação costeira e oceânica podem fazer com que, dependendo da condição da maré, haja turbulência das águas à norte (situação de enchente) ou a leste da ilha (situação de vazante). Este efeito pode ser um dos responsáveis pela alta resposta espectral da região, intensificando-a ou mantendo-a por períodos mais longos. As Figuras 32a e 32b parecem representar esse efeito.

3.7.3 Desembocadura da Baía de Paranaguá

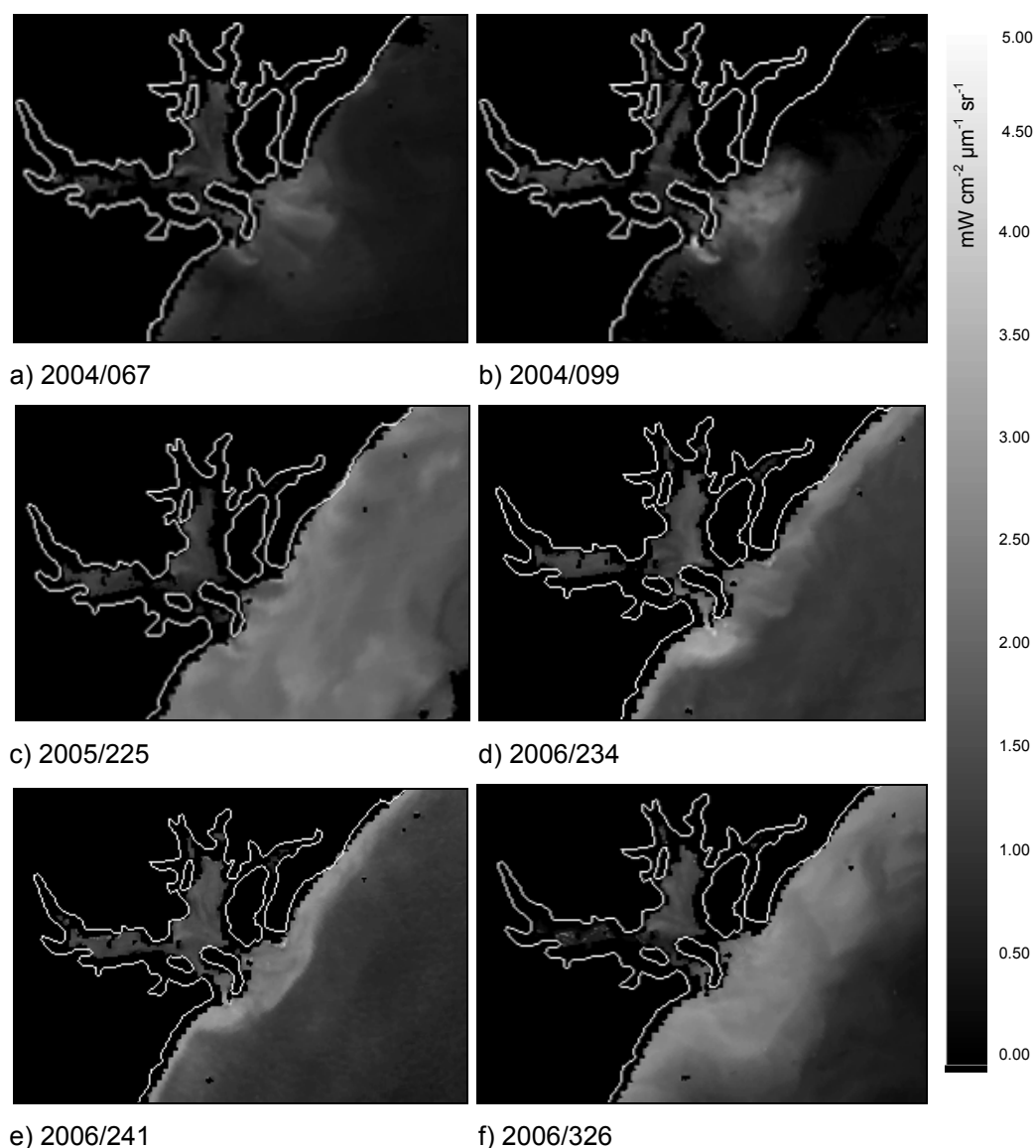


Figura 35. Variabilidade da turbidez na desembocadura da Baía de Paranaguá.

Para a interpretação das imagens, foram observados os seguintes dados de precipitação da estação de Pontal do Sul.

Tabela 6. Dados de precipitação para Pontal do Sul no período anterior a aquisição das imagens.

Data	DJ	Dia anterior	2 dias antes	3 dias antes	4 dias antes	5 dias antes	6 dias antes	7 dias antes
07-03-04	67	0.00	0.51	16.76	5.84	1.27	0.51	0.00
08-04-04	99	0.00	0.00	1.27	0.00	3.05	0.00	0.00
13-08-05	225	0.00	0.00	134.62	55.37	22.35	3.05	0.00
22-08-06	234	0.00	0.00	1.80	10.80	2.40	2.60	0.00
29-08-06	241	0.40	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22-11-06	326	2.80	5.80	38.80	9.60	3.40	0.00	0.40

As regiões estuarinas são caracterizadas por processos contínuos de entrada e saída de matéria orgânica e inorgânica, principalmente pela atuação das marés. Potencializando essa dinâmica, a desembocadura da Baía de Paranaguá possui uma configuração complexa, com destaque para a Ilha do Mel, que possibilita a formação de uma dupla desembocadura, e para a existência de extensos bancos arenosos, os quais tornam a área consideravelmente mais rasa. Naturalmente, a distribuição dos sólidos em suspensão é afetada por esses obstáculos.

Nas Figuras 35a e 35b, percebe-se na desembocadura sul da baía uma feição em forma de arco, com altos níveis de nL_w555 , e que remete ao contorno de um dos bancos de areia importantes na região. A baixa profundidade e a circulação intensa resultam em turbulência, provável responsável pelo aumento da radiância nesses locais.

Os altos níveis de nL_w555 no entorno da baía no dia 99 podem ser consequência da atuação dos ventos sucessores ao ciclone Catarina, os quais podem ter aumentado a intensidade das ondas e consequentemente os mecanismos de ressuspensão. Uma maneira de entender esse processo é compará-la a imagem do dia 67. O alcance espacial que a turbidez atinge, em ambos os casos, é similar. O que difere uma situação da outra é, a princípio, a textura da superfície do mar.

A imagem do dia 225 representa o impacto da presença das águas do sul do país na hidrografia local. Apesar de registros de precipitação terem acusado mais de 200 mm de chuva durante os dias anteriores, observa-se apenas uma região homogênea com altos níveis de nL_w555 . Com isso, corrobora-se a tendência de os mecanismos mais relevantes de mistura ocorrerem na parte interna dos estuários, fazendo com que os processos observados na porção costeira sejam moldados ou mascarados conforme a atuação de fatores externos.

Em 2006, duas imagens exemplificam a influência da topografia no confinamento dos sólidos em suspensão (234 e 241). Na primeira, observa-se também a distinção entre a turbidez das duas vias de saída da baía, o que pode indicar a dominância de processos diferentes em cada local (ressuspensão e dispersão, por exemplo).

A turbidez da Figura 35f foi registrada em grande escala espacial, como foi exemplificado na Figura 20c. Apesar de o volume de chuvas medido na estação de Pontal do Sul não parecer significativo a ponto de gerar tal magnitude de pluma, é provável que a turbidez seja consequência de uma chuva de grande porte que deve ter atingido toda a bacia de drenagem. Como o período antecessor a imagem foi bastante seco, os sinais da turbidez também devem ter sido potencializados. Além disso, deve-se considerar o efeito das marés, que podem ter colaborado com a intensificação da dispersão dos sólidos suspensos no entorno da desembocadura da baía.

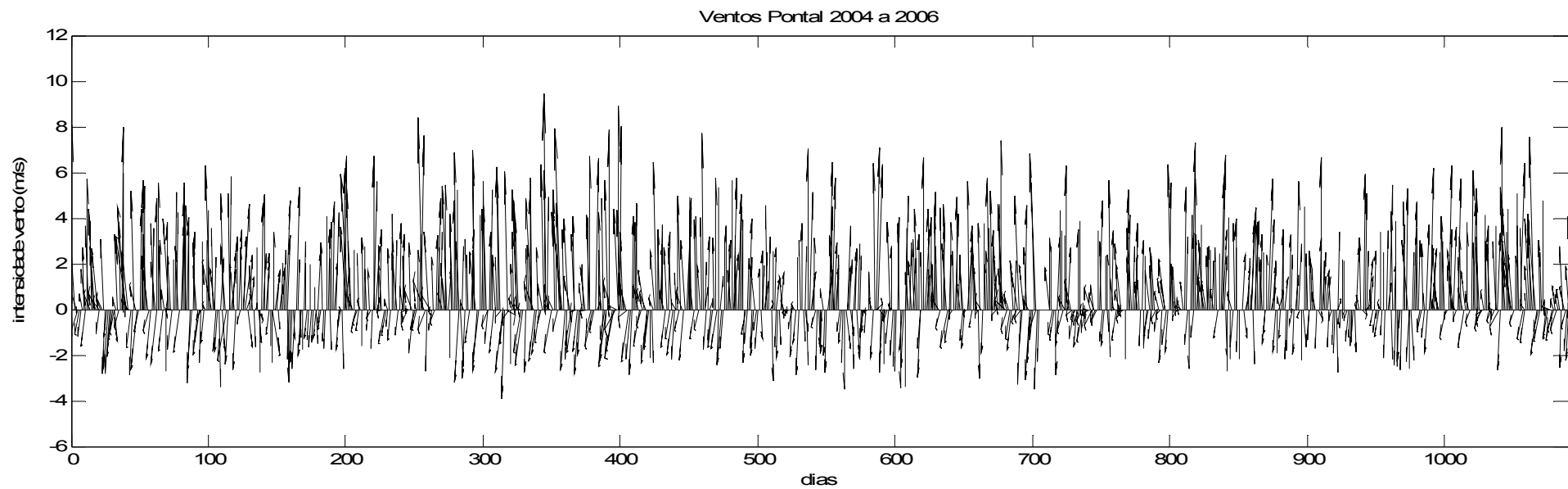


Figura 36. Intensidade e direção dos ventos em Pontal do Sul, de 2004 a 2006.

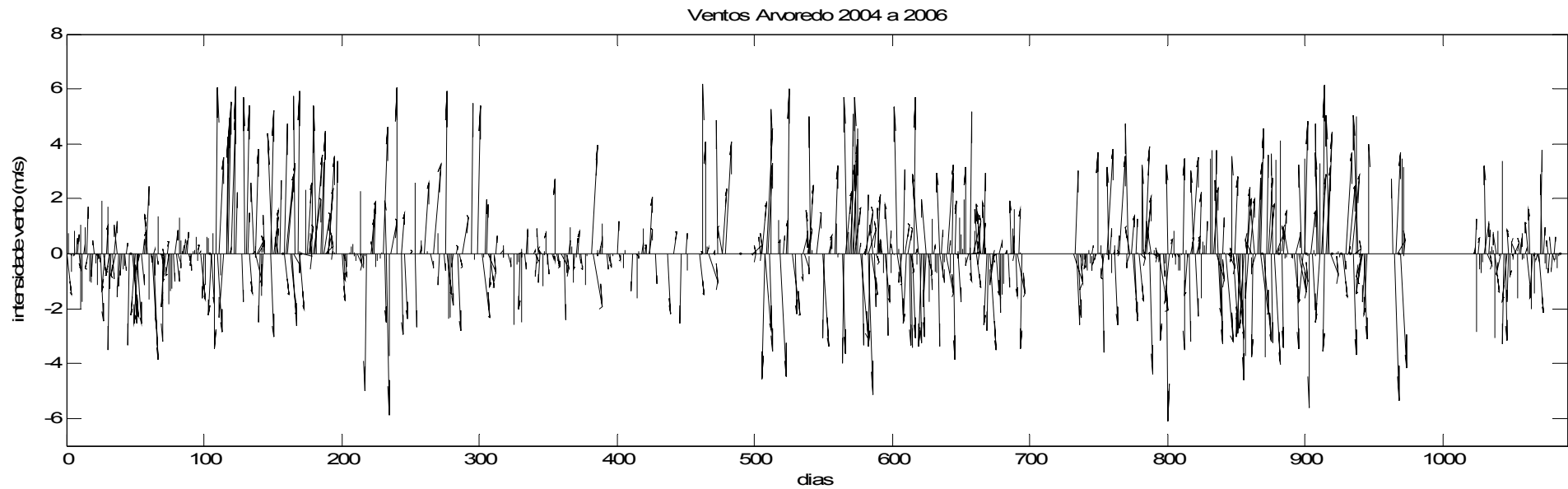


Figura 37. Intensidade e direção dos ventos na Ilha do Arvoredo, de 2004 a 2006.

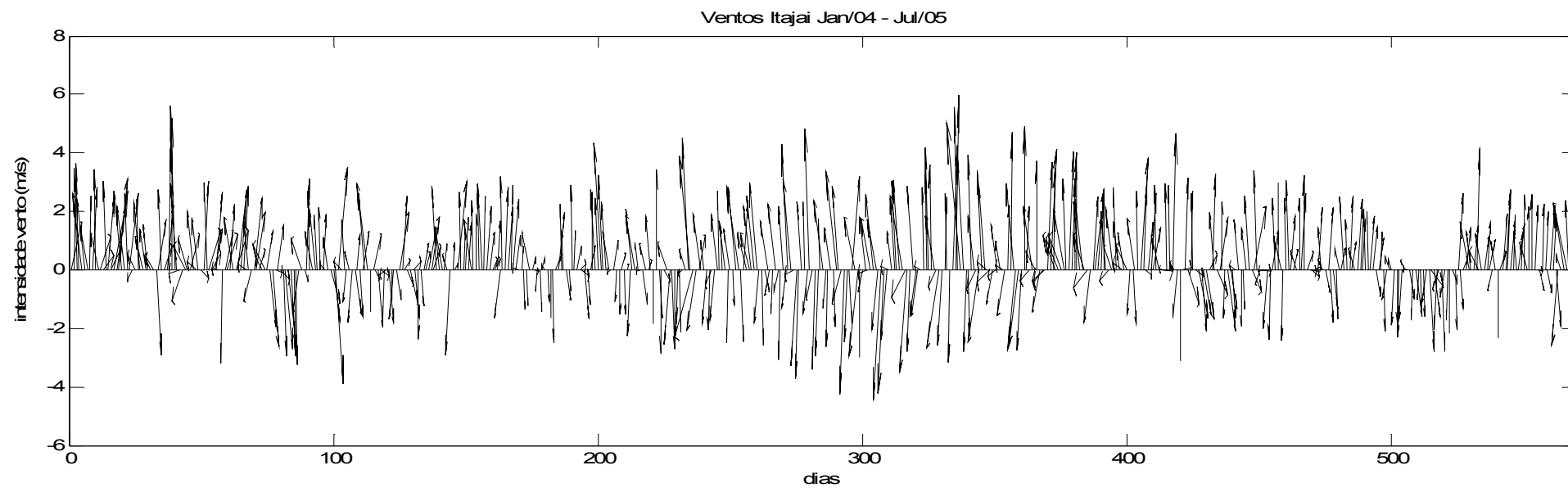


Figura 38. Intensidade e direção dos ventos em Itajai de janeiro/2004 a julho/2005.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A observação de um grande número de imagens da região sul do Brasil revelou uma série de processos ligados à interação oceano – continente - atmosfera, identificados em diversas escalas de tempo e espaço. As variabilidades foram relacionadas a diversos fatores, quase sempre inter-relacionados: características das bacias de drenagem, tipo de costa e posição geográfica dos pontos amostrados; padrões meteorológicos semanais, sazonais e anuais; incidência e persistência de ventos; e existência ou ausência de precipitação.

A utilização do sensor Aqua-MODIS possibilitou a observação detalhada da cor do mar nas zonas costeiras. Os produtos analisados foram de qualidade satisfatória, embora diversas imagens foram inviabilizadas por apresentarem falhas relacionadas à correção atmosférica: “*sun glint*” ao sul da área de estudo e máscara nas áreas com alta resposta espectral. Esses problemas são documentados por diversos cientistas (RUDDICK *et al.*, 2006; TZORTZIOU *et al.*, 2006; MOREL *et al.*, 2006; UNCLES, 2002; RUDDICK *et al.*, 2000) o que gerou uma mobilização em torno de alternativas e implementação de novas técnicas, de modo que, em breve, esta não mais será uma restrição no estudo das águas costeiras.

Além da perda de imagens por fatores técnicos, a presença de nuvens na área consistiu o principal fator responsável pela não-aquisição de imagens consecutivas, o que, no entanto, é intrínseco à utilização de sensores remotos na oceanografia. Isso impossibilitou a análise completa dos processos de formação, desenvolvimento e dissipação das feições encontradas, na maioria dos casos.

Neste trabalho, a precipitação costeira foi considerada representativa da precipitação nas bacias de drenagem. Quanto aos volumes de chuva citados como sendo suficiente para a percepção da turbidez, vale lembrar que estão relacionados ao volume registrado nas estações costeiras. Certamente, a turbidez observada é resultante de uma quantidade de chuvas superior, com contribuição de toda a bacia de drenagem.

A probabilidade de a precipitação ao longo da bacia de drenagem ser heterogênea no tempo e no espaço deve ter sido a maior responsável pelos baixos índices de correlação com a turbidez encontrados. Através das imagens, essa inconsistência foi observada através da ausência de feições de turbidez durante períodos chuvosos na zona costeira, ou mesmo sua existência em períodos aparentemente secos.

Um passo importante seria identificar que local na bacia de drenagem representa melhor a chuva que alcança a zona costeira. No entanto, antes disso, seria preciso que as estações meteorológicas de toda a região efetivamente registrassem esses dados. Das

estações divulgadas e acessíveis, raras são as que possuem dados contínuos e atualizados. Ainda mais importante, para não dizer essencial, seria imprescindível que as estações registrassem dados da vazão dos rios principais da bacia de drenagem, o que significaria a eliminação dos erros referentes a correlação entre “causa e efeito” indiretos.

O comportamento do próprio ambiente pode ter resultado em baixas correlações entre as chuvas e seus efeitos sob a forma de plumas: a zona costeira em períodos de estiagem parece responder com muito mais intensidade a ocorrência de uma chuva ocasional. Ao mesmo tempo, os efeitos podem ser observados por mais tempo, já que as precipitações são esparsas. Isto deve estar relacionado à quantidade de água evaporada no período seco, às características do solo, ao potencial de infiltração, etc.

Visualmente, em alguns casos, foi possível a distinção entre turbidez gerada por deságüe fluvial e ressuspensão, a partir das características de rugosidade e padrões de propagação. A observação dessas situações através dos transectos não foi bem sucedida por dois motivos: as características espectrais das duas condições são similares e; os transectos consistiram amostras limitadas, com a retirada de informações em apenas uma dimensão. Trabalhos futuros poderiam incluir a estimativa das áreas cobertas por diferentes limiares de turbidez, de modo a incorporar na análise os padrões de dispersão e as irregularidades na configuração das plumas.

Processos distintos parecem dominar em locais diferentes da área de estudo. Enquanto a maré parece ter papel fundamental na dispersão dos sólidos em suspensão nas imediações dos estuários resultando visualmente em gradientes mais amenos de turbidez, nas desembocaduras dos rios o que se vê são plumas mais intensas, mas que aparentemente dissipam mais rapidamente. Isto também deve estar relacionado à velocidade com que os fluxos d'água atingem o oceano em ambos os casos, ou seja, variando conforme as características das bacias de drenagem.

Com a possibilidade de mais imagens serem adquiridas ao longo dos próximos anos, a variabilidade no alcance da intrusão da corrente costeira e conseqüente fertilização poderá ser discutida e detalhada, o que será de grande importância para o gerenciamento das atividades de pesca e monitoramento ambiental no sul e sudeste do Brasil.

5. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, L.O.; LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O.A. (2003). **Sensor MODIS: Uma abordagem geral**. INPE. São José dos Campos.
- BARNES, W.L.; XIONG, X.; SALOMONSON, V.V. (2003). Status of Terra MODIS and Aqua MODIS. **Advanced Space Research** 32: 2099-2106.
- BARNES, W.L.; XIONG, X.; SALOMONSON, V.V. (2002). **Status of Terra MODIS and Aqua MODIS**. NASA/Goddard Space Flight Center. Maryland, USA.
- BIGARELA, J. J. (1978). **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná**. Secretaria de Estado e de Planejamento/ ADEA. Curitiba.
- BOLDRIN A.; LANGONE L.; MISEROCCHI S.; TURCHETTO M.; ACRI, F. (2005). Po River plume on the Adriatic continental shelf: Dispersion and sedimentation of dissolved and suspended matter during different river discharge rates. **Marine Geology** (222-223): 135–158.
- BOWERS, D.G.; EVANS, D.; THOMAS, D.N.; ELLIS, K. WILLIAMS, P.J.B. (2004). Interpreting the colour of an estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59:13-20.
- BOWERS, D.G. HARKER, G.E.L.; SMITH, P.S.D.; TETT, P. (2000). Optical properties of a region of freshwater influence (The Clyde Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50: 717-726
- BRANDINI, F.P. (1986). **Hidrografia e caracterização do fitoplâncton da região sueste do Brasil: Produção Primária, biomassa e composição**. Universidade de São Paulo. São Paulo. Tese de doutorado.
- CARDER, K.L.; CHEN, F.R.; LEE, Z.; HAWES, S.K.; CANNIZZARO, J.P. (2003). **MODIS Ocean Science Team Algorithm Theoretical Basis Document ATBD 19 - Case 2 Chlorophyll a**. Version 7. College of Marine Sciences, Florida.
- CHAUHAN, O.S.; RAJAWAT, A.S.; PRADHAN, Y.; SUNEETHI, J.; NAYAK, S.R. (2005). Weekly observations on dispersal and sink pathways of the terrigenous flux of the Ganga – Brahmaputra in the Bay of Bengal during NE monsoon. **Deep-Sea Research II** 52:2018–2030.
- CHEN, Z.; HU, C.; MULLER-KARGER, F. (2007). Monitoring turbidity in Tampa Bay using MODIS/Aqua 250-m imagery. **Remote Sensing of Environment**. doi: 10.1016/j.rse.2006.12.019

CIOTTI, A.M., ODEBRECHT, C., FILMANN, G., MÖLLER JR, O.O. (1995). Freshwater outflow and subtropical convergence influence on phytoplankton biomass on the southern Brazil shelf. **Continental Shelf Research** 15 (4) 1737-1756.

DHN, 2007. Centro de Hidrografia Marinha - Ministério da Defesa. **Marés**. Acesso em: Abr/2007. Disponível em: <https://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>

DURAND, N.; FIANDRINO, A.; FRAUNIE, P.; OUIILLON, S.; FORGET, P.; NAUDIN, J.J. (2002). Suspended matter dispersion in the Ebro ROFI: an integrated approach. **Continental Shelf Research** 22:267–284.

DZWONKOWSKI, B.; YAN, X.H. (2005) Tracking of a Chesapeake Bay estuarine outflow plume with satellite-based ocean color data. **Continental Shelf Research**. 25:1942–1958.

FELDMAN, G. C.; MCCLAIN, C.R. (2005). Ocean Color Forum. Eds. KURING, N.; BAILEY, S. W.; THOMAS, D.; FRANZ, B. F.; MEISTER, G.; WERDELL, P. J.; EPLEE, R. E.; MACDONALD, M.; RUBENS, M. **NASA Goddard Space Flight Center**. <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

FORGET, P.; OUIILLON, S. (1998). Surface suspended matter off the Rhone river mouth from visible satellite imagery. **Oceanologica Acta** 21 (6) 739-749.

FRANZ, B. (2006). **Extension of MODIS Ocean Processing Capabilities to include the 250 & 500-meter Land/Cloud Bands**. NASA Ocean Biology Processing Group. Acesso em: set/2006. Disponível em: http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/DOCS/modis_hires/

FREITAS, F.H. & NOERNBERG, M.A. (2007). **Análise dos fatores limitantes da resolução temporal do sensor Aqua-Modis em estudos de águas costeiras: um exemplo no sul do Brasil**. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar. Florianópolis. Pág. 385.

GFSC / DAAC / NASA (2006). **MODIS-Terra Product Descriptions**. Acesso em abr. 2006. Disponível em: http://daac.gsfc.nasa.gov/MODIS/Terra/product_descriptions_modis.shtml

GSFC / NASA (2006). **Design Concept of MODIS**. Acesso em nov. 2005. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/design.php>

GRÉ, J.C.R. (1983). **Aspectos sedimentares da plataforma continental de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 90p.

HELLWEGER, F.L.; SCHLOSSER, P.; LALL, U.; WEISSEL J.K. (2004). Use of satellite imagery for water quality studies in New York Harbor. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 61:437–448.

HOOKE, S.B.; MCCLAIN, C.R.; MANNINO, A. (2007). **A Comprehensive Plan for the Long-Term Calibration and Validation of Oceanic Biogeochemical Satellite Data**. The Ocean Biology and Biogeochemistry Program Manager. NASA.

HORN FILHO, N.O. (1997). **O quaternário costeiro da Ilha de São Francisco do Sul e arredores, nordeste do estado de Santa Catarina – aspectos geológicos, evolutivos e ambientais**. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 312p.

HOSSAIN, S., EYRE, B., MCCONCHIE, D. (2001). Suspended sediment transport dynamics in the sub-tropical micro-tidal Richmond river estuary, Australia. **Estuarine Coastal and Shelf Science** 52:529–541.

KIRK, J.T.D. (1994). **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2 ed. Cambridge Un. Press. p.135-167.

LALLI, C. M. & PARSONS, T. R. (1997) **Biological Oceanography an Introduction**. The Open University. 2º edition. Vancouver – Canadá. Printed Great Britain. Chapter 3. 39 – 73p.

LAWLER, D.M.; PETTS, G.E.; FOSTER, I.D.L.; HARPER, S. (2006). Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: The Upper Tame, West Midlands, UK. **Science of the Total Environment** 360:109– 126.

LI, R-R.; KAUFMAN, Y.J.; GAO, B-C.; DAVIS, C.O. (2003). Remote Sensing of Suspended Sediments and Shallow Coastal Waters. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** 41 (3) 559-566.

MANTOVANELLI, A. (1999). **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 149 p.

MARONE, E. & CAMARGO, M.G. (1994). Marés meteorológicas no litoral do Estado do Paraná: o evento de 18 de agosto de 1993. **Nerítica**, Curitiba, 8: 73-85.

MARQUES, W.C. (2005). **Padrões de variabilidade temporal nas forçantes da circulação e seus efeitos na dinâmica da Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química, Física e Geológica). Fundação Universidade do Rio Grande. 85p.

MARTINS, M.R. **Estudo da massa d'água superficial das Baías de Paranaguá e Antonina PR, utilizando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). Rio Claro – São Paulo, UNESP.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. (2006). **Climatologia – Noções Básicas e Climas do Brasil**. Ed. Oficina de Textos. Curitiba.

MMA/UFRJ/FUJB/LAGET (1996). **Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil na escala da União**. Brasília: Programa Nacional do Meio Ambiente. 280p.

MOBASHERI, M. R. & HAMID, M. (2004) **Remote Sensing of suspended sediments in surface waters, using MODIS images**. Iran. 6p.

MOREL, A.; GENTILI, B.; CHAMI, M. RAS, J. (2006). Bio-optical properties of high chlorophyll Case 1 waters and of yellow substance dominated Case 2 waters. **Deep-Sea Research I** 53:1439-1459.

NEZLIN, N.P.; DIGIACOMO, P.M.; (2005) Satellite ocean color observations of stormwater runoff plumes along the San Pedro Shelf (southern California) during 1997–2003. **Continental Shelf Research**.25:1692–1711.

NEZLIN, N.P.; DIGIACOMO, P.M.; STEIN, E.D.; ACKERMAN, D. (2005) Stormwater runoff plumes observed by SeaWiFS radiometer in the Southern California Bight. **Remote Sensing of Environment** 98:494 – 510.

NOERNBERG, M.A. & FREITAS, F.H. (2007). **Variação da turbidez em águas costeiras através do sensor MODIS: A influência da descarga fluvial**. XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar. Florianópolis. Pág. 382-283.

NOERNBERG, M.A.; KAMPEL, M.; BRANDINI, F.P. (2007). **Estudo da variabilidade temporal da concentração de clorofila estimada por satélite na plataforma continental catarinense: latitude 26° 46' S**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. INPE, p. 4635-4642

NOERNBERG, M.A. (2001). **Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná - Brasil: um estudo a partir de dados *in situ* e Landsat-TM**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 142p.

O'REILLY, J. E.; MARITORENA, S.; O'BRIEN, M. C.; SIEGEL, D. A.; TOOLE, D.; MENZIES, D.; SMITH, R. C.; MUELLER, J.L.; MITCHELL, B. G.; KAHRU, M.; CHAVEZ, R. P.; STRUTTON, P.; COTA, G. F.; HOOKER, S.B.; MCCLAIN, C.R.; CARDER, K.L.; MUELLER-KARGER, F.; HARDING, L.; MAGNUSON, A.; PHYNNEY, D.; MOORE, G.F.; AIKEN, J.; ARRIGO, K.R.; LETELIER, R.; CULVER, M. SeaWiFS Postlaunch Calibration and Validation Analyses, part 3 v.11. In: HOOKER, S.B. & FIRESTONE, E.R. (2000). **NASA Tech. Memo**. 2000- 206892. Greenbelt, Md, NASA Goddard Space Flight Center.

OLD, G.; LEEKS, G.J.L.; PACKMAN, J.C.; SMITH, B.P.G.; LEWIS, S.; HEWITT, E. (2006). River flow and associated transport of sediments and solutes through a highly urbanised catchment, Bradford, West Yorkshire. **Science of the Total Environment** 360:98–108.

PASQUINI, A.I.; DEPETRIS, P.J. (2007). Discharge trends and flow dynamics of South American rivers draining the southern Atlantic seaboard: An overview. **Journal of Hidrology** 333:385-399.

PEREIRA, M.D. (2006). **Caracterização de feições oceanográficas no litoral dos estados de Santa Catarina e Paraná a partir de imagens orbitais**. Trabalho de graduação (Bacharelado em Oceanografia). Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar – CTTMar. Universidade do Vale do Itajaí. 66 p.

PEREIRA, R. C. & GOMES, A. S. (2002) **Biologia Marinha**. Editora Interciência. Rio de Janeiro. Capítulo 10. 195 – 227p.

PIOLA, A.R.; MÖLLER JR, O.O.; PALMA, E.D. (2004). O impacto do Rio da Prata no Oceano Atlântico. **Revista Ciência Hoje** 36 (216) 30-37.

PIOLA, A.R.; CAMPOS, E.J.D.; MOLLER Jr.,O.O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. (2000). Subtropical Shelf Front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research** 105:6565–6578.

RASMUSSEN, E.M.; WANG, X.; CHESTER, F.R. (1990). The biennial component of ENSO variability. **Journal of Marine Systems** 1 (1-2) 71-96.

RITCHIE, J. C.; SCHIEBE, F. R.; MCHENRY, J. R. (1976). Remote Sensing of Suspended Sediments in Surface Water. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing** 42: 1539-1545.

RITCHIE, J. C., COOPER, C. M., SCHIEBE, F. R. (1990). The Relationship of MSS and TM Digital Data with Suspended Sediments, Chlorophyll, and Temperature in Moon Lake, Mississippi. **Remote Sensing of Environment** 33:137-148.

RUDDICK, K.G.; OVIDIO, F.; RIJKEBOER, M. (2000). Atmospheric correction of SeaWiFS imagery for turbid coastal and inland waters. **Applied Optics** 39 (6) 897-912.

RUDDICK, K.G.; DE CAUWER,V.; PARK, Y-J. (2006). Seaborne measurements of near infrared water-leaving reflectance: The similarity spectrum for turbid waters. **Limnology Oceanography** 51(2) 1167–1179.

SALISBURY, J.E.; CAMPBELL, J.W.; MEEKER, L.D.; VOROSMARTY, C.J. (2001). Ocean color and river data reveal fluvial influence in coastal waters. **EOS Transactions, American Geophysical Union** 82:20 (221) 226-227.

SATHYENDRANATH, S; PRIEUR, L.; MOREL, A. (1987). An evaluation of the problems of chlorophyll retrieval from ocean colour, for case 2 waters. **Advances in Space Research** 7 (2) 27-30.

SAUNDERS, A.; GHIL, M.A. (2001). Boolean delay equation model of ENSO variability. *Physica D.* 160: 54-78.

SAVTCHENKO, A.; OUZOUNOV, D.; AHMAD, S.; ACKER, J.; LEPTOUKH, G.; KOZIANA, J.; NICKLESS, D. (2004). Terra and Aqua MODIS products available from NASA GES DAAC. **Advances in Space Research** 34:710–714

SILVA JR, C.L.; KAMPEL, M.; ARAUJO, C.E.S.; STECH, J.L. (1996). **Observação da penetração do ramo costeiro da corrente das Malvinas na costa sul-sudeste do Brasil a partir de imagens AVHRR.** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil. INPE, p. 787-793.

SOUZA, M.C. (1999). **Mapeamento da planície costeira e morfologia e dinâmica das praias do município de Itapoá, estado de Santa Catarina: subsídios para a ocupação.** Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 177p.

SOUZA, R.B.; ROBINSON, I.S. (2004). Lagrangian and satellite observations of the Brazilian Coastal Current. **Continental Shelf Research** 24:241-262.

TZORTZIOU, M.; SUBRAMANIAM, A.; HERMAN, J.R.; NEALE, C.L.P.J.; HARDING Jr., L.W. (2006). Remote sensing reflectance and inherent optical properties in the mid Chesapeake Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. doi:10.1016/j.ecss.2006.09.018

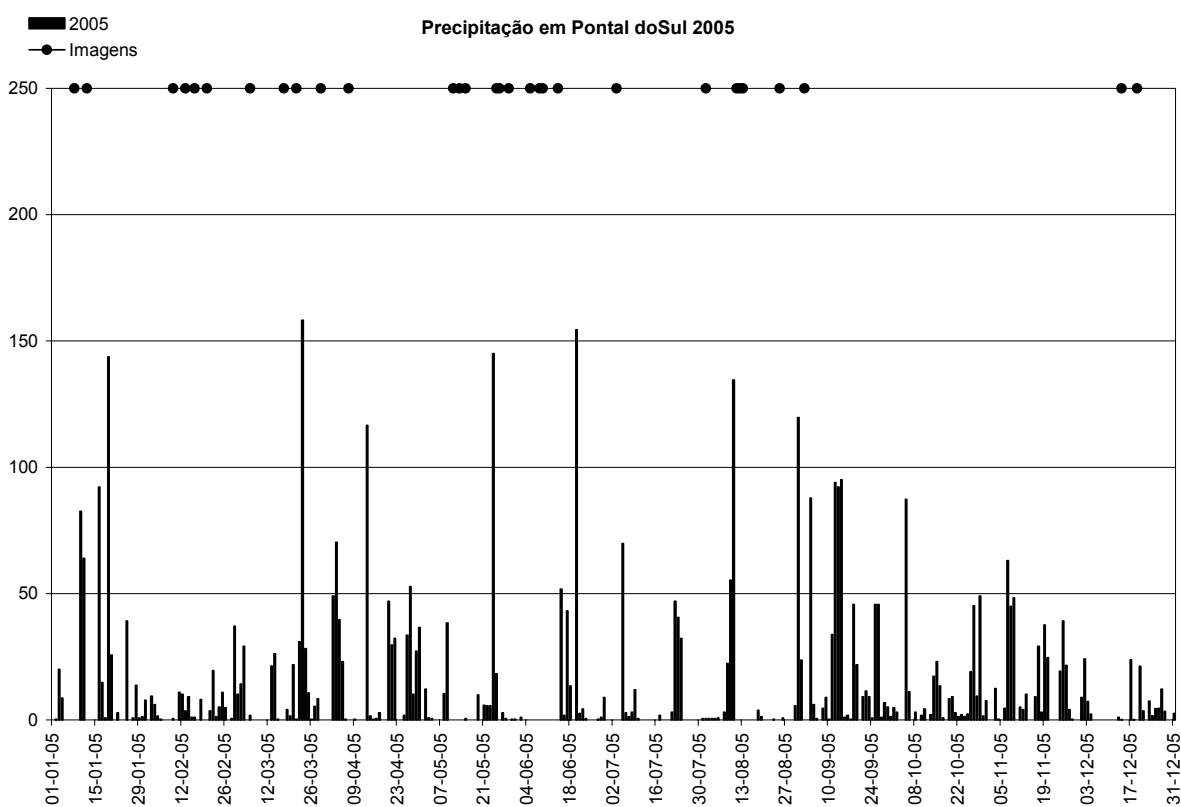
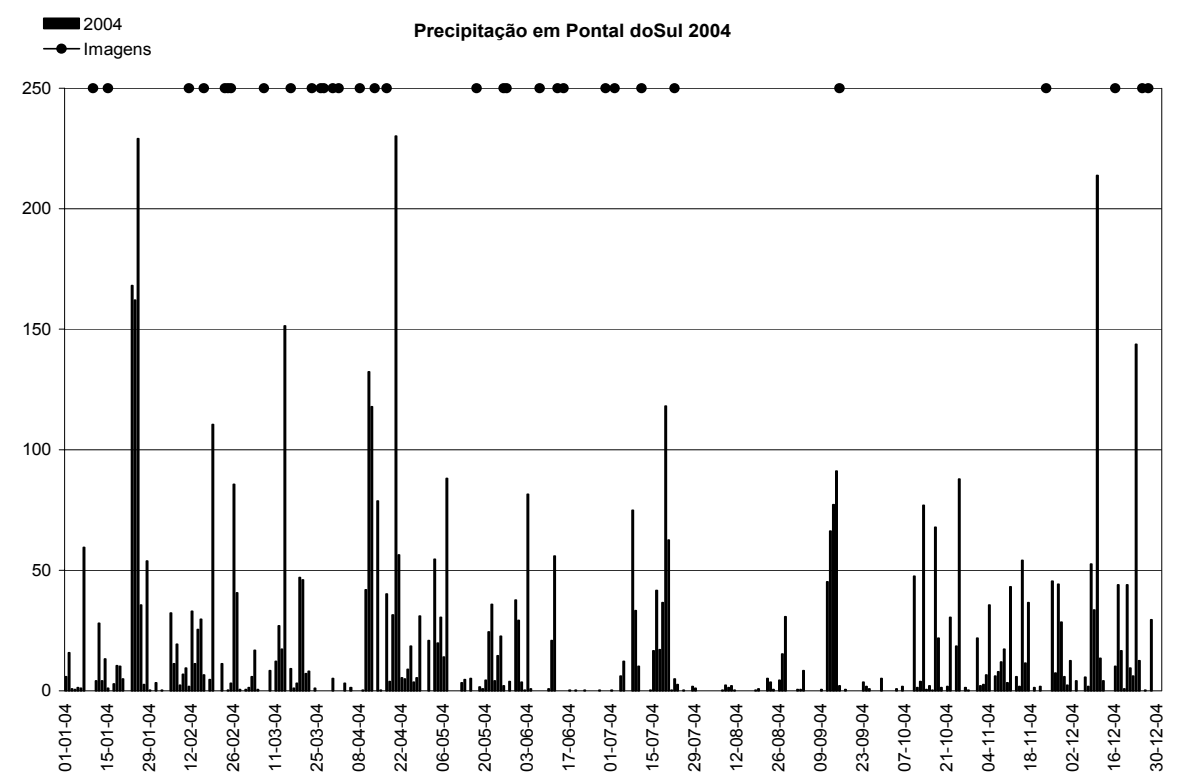
UNCLES, R.J. (2002). Estuarine Physical Processes Research: Some Recent Studies and Progress. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** 55:829-856.

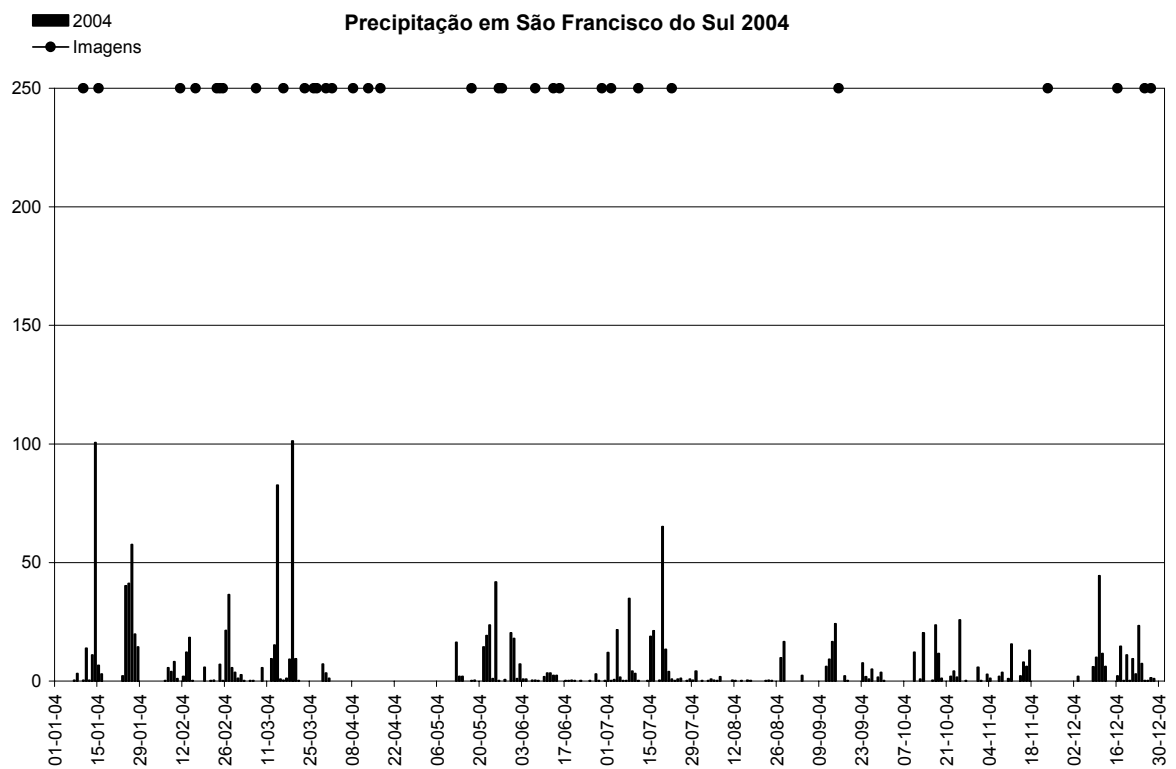
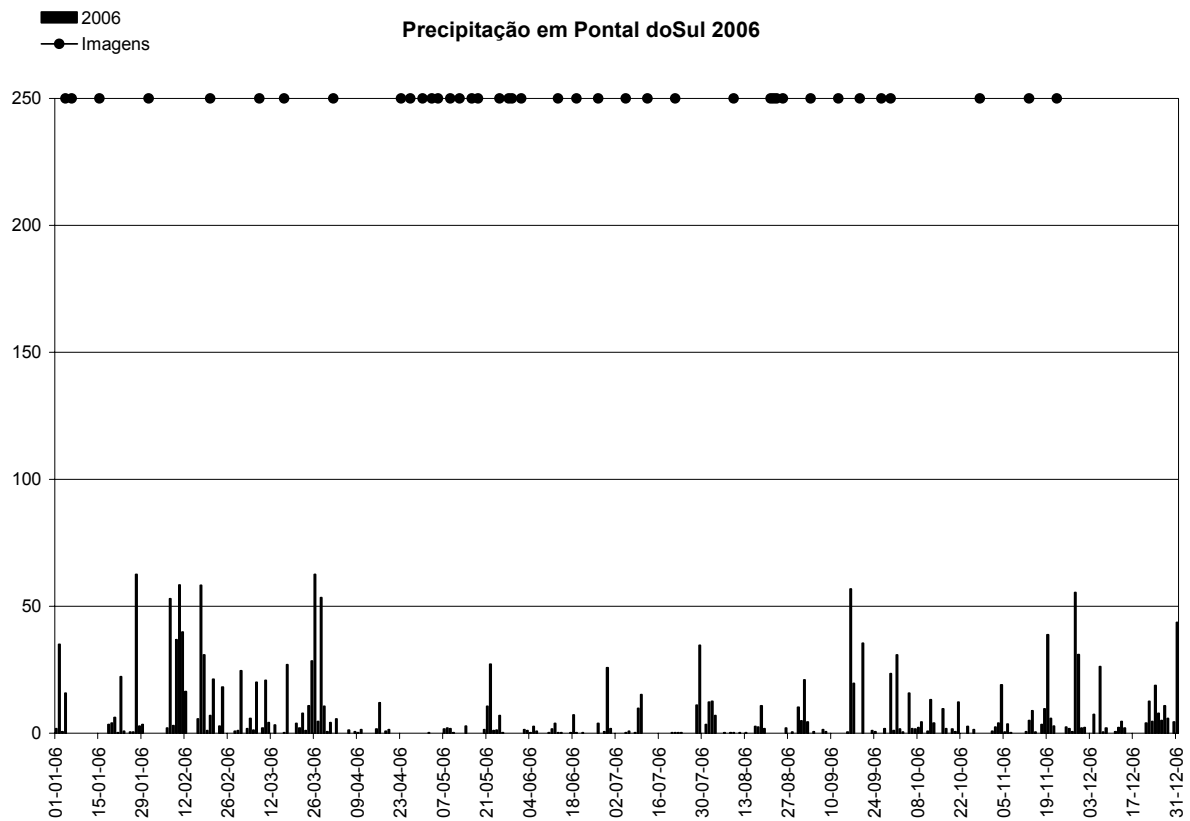
WALKER N. D. (1996) Satellite assessment of Mississippi River plume variability: causes and predictability. **Remote Sensing of Environment**. 58:21-35.

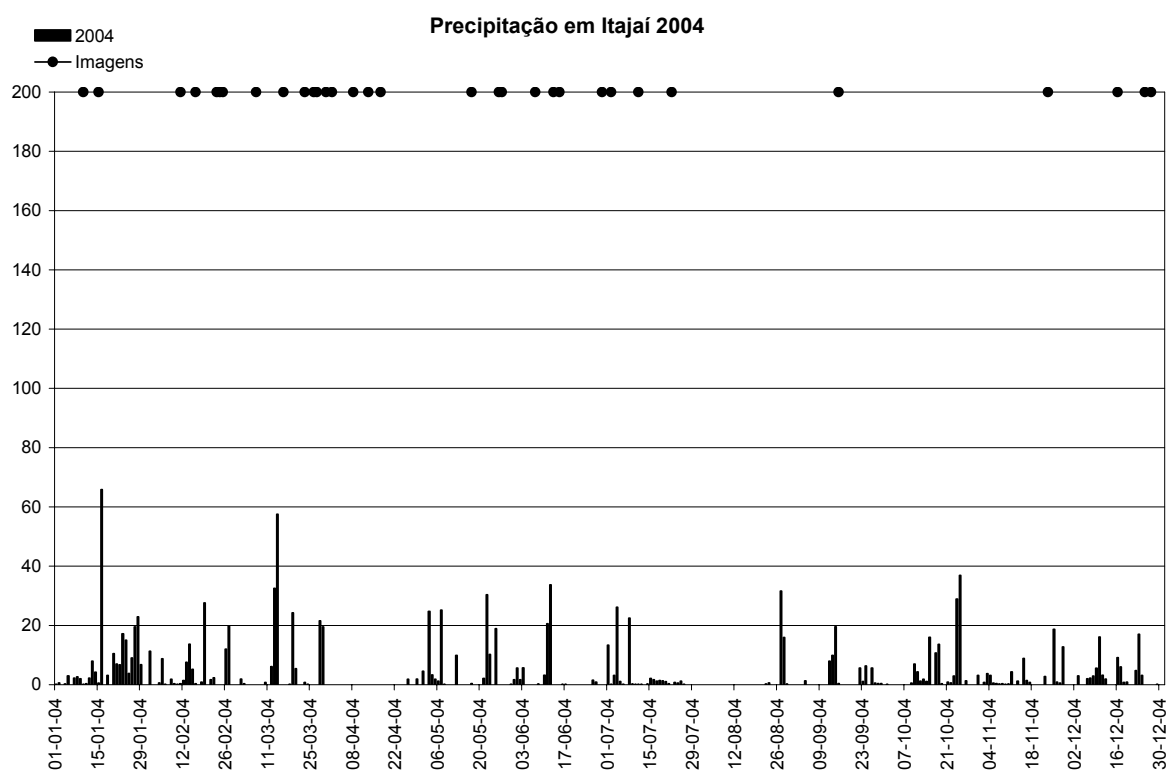
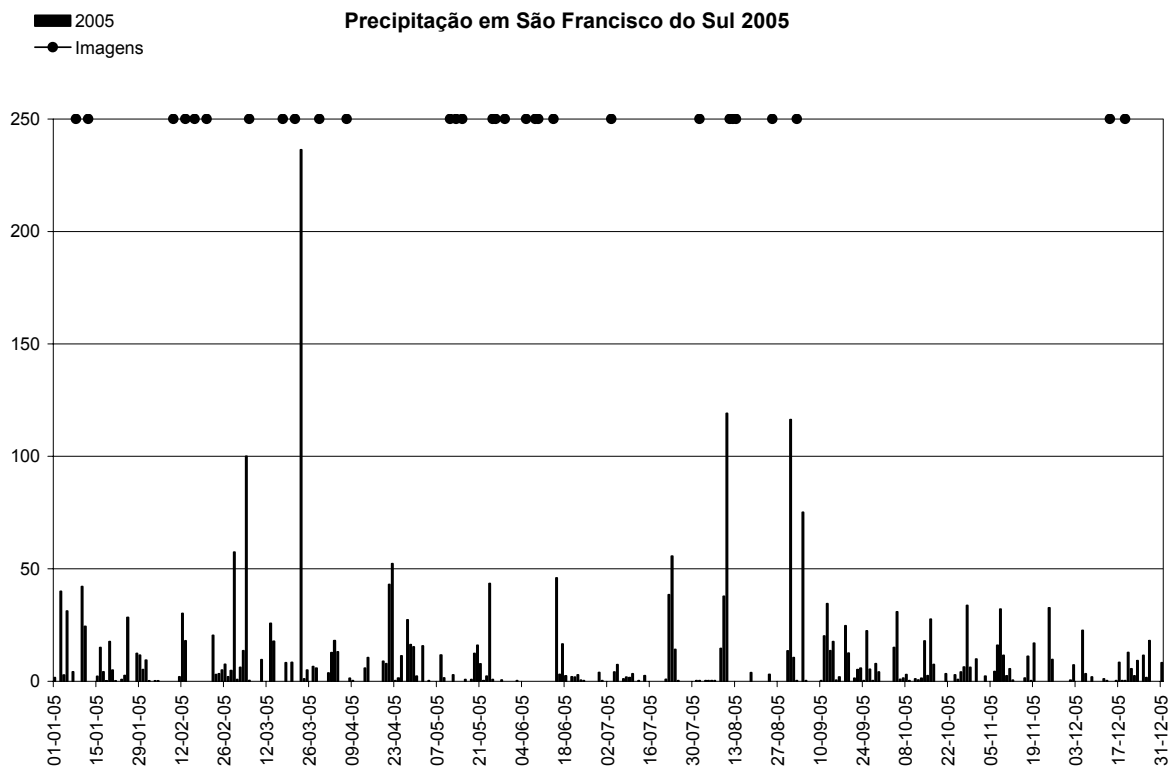
WASHBURN, L.; MCCLURE, K.A.; JONES, B.H.; BAY, S.M. (2003). Spatial scales and evolution of stormwater plumes in Santa Monica Bay. **Marine Environmental Research** 56:103–125.

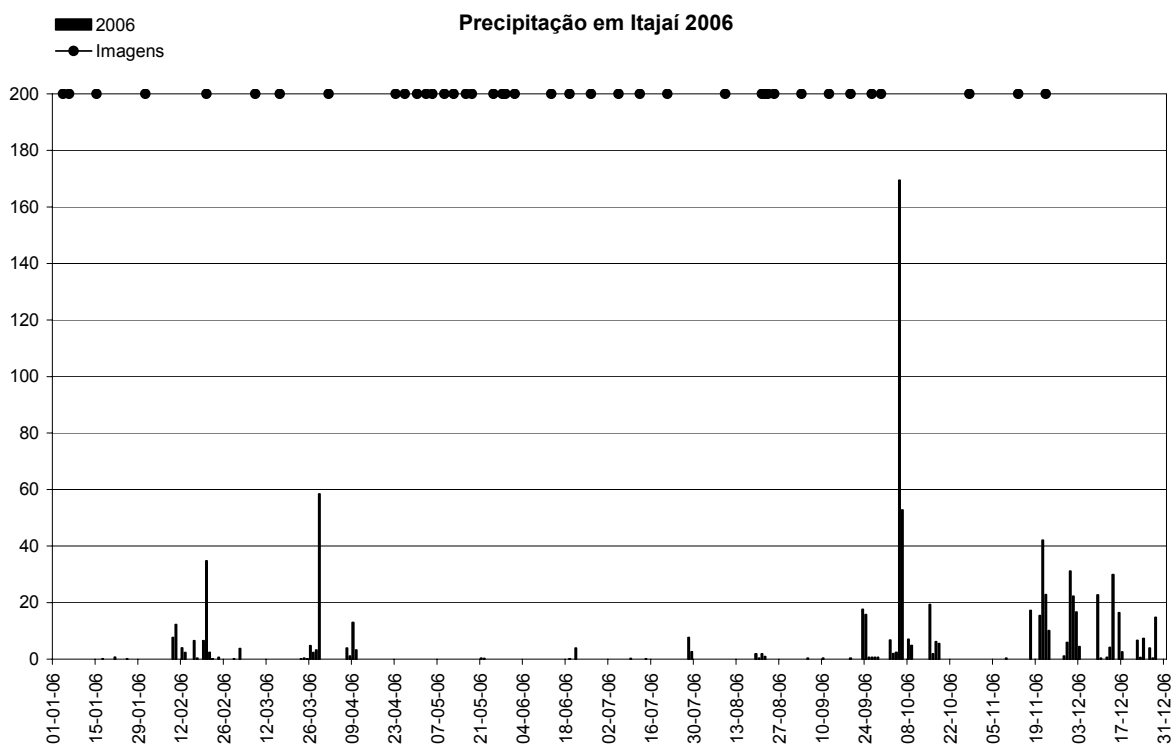
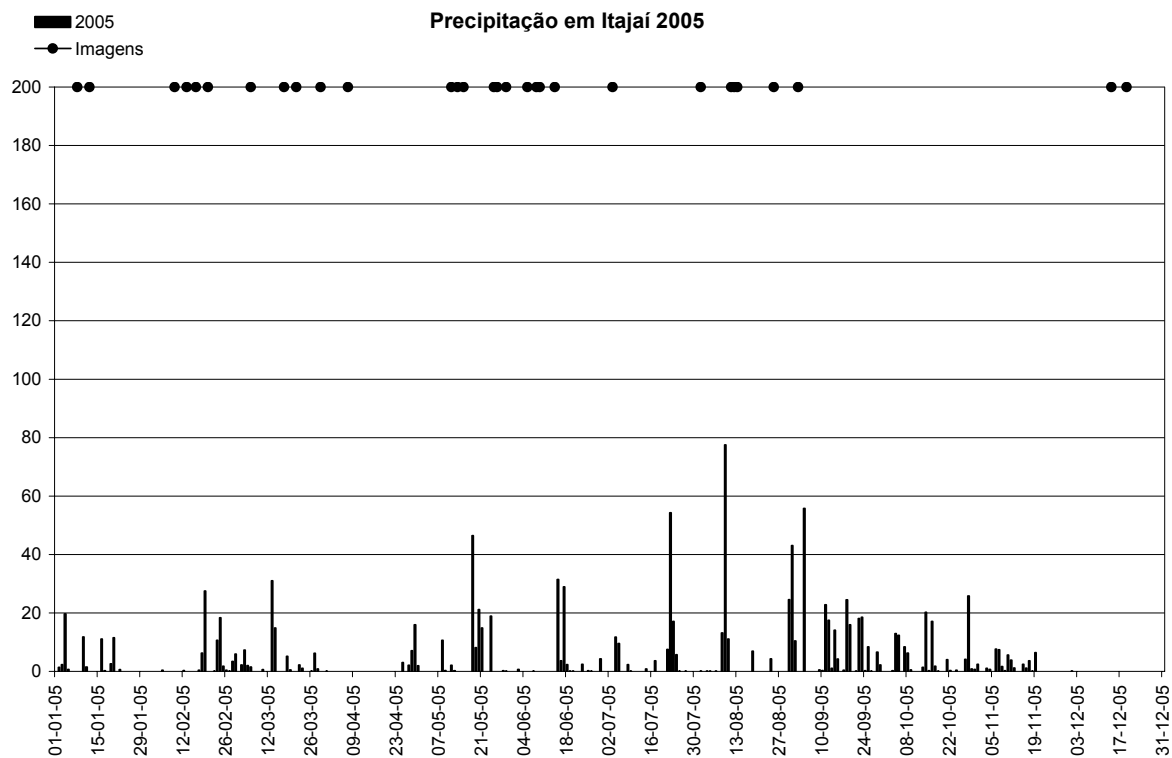
WOODRUFF, D. L.; STUMPF, R.P.; SCOPE, J.A., PAERL, H.W. (1999). Remote estimation of water clarity in optically complex estuarine waters. **Remote Sensing of Environment**. 68:41-52.

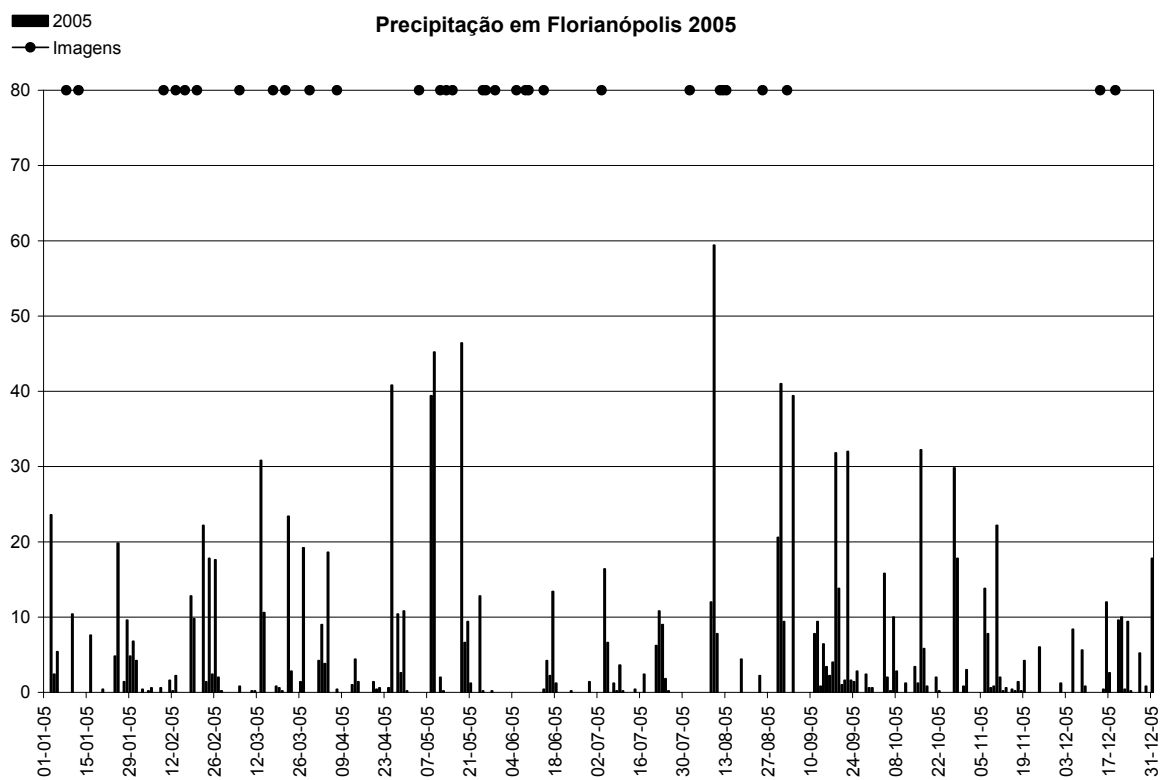
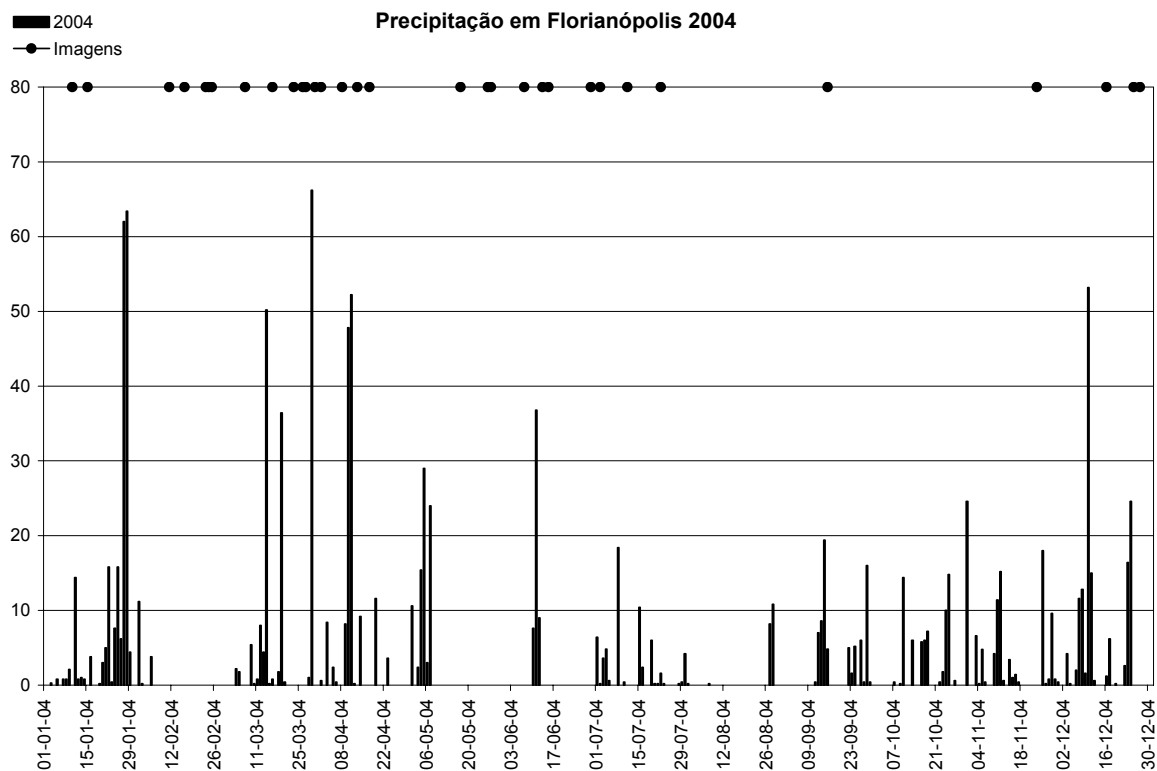
ANEXO I. Gráficos de precipitação (mm) a cada ano, para Pontal do Sul, São Francisco, Itajaí e Florianópolis e disposição da série de imagens disponível para as análises. Ao final, uma tabela com o volume total de chuvas registrado nas estações a cada ano.

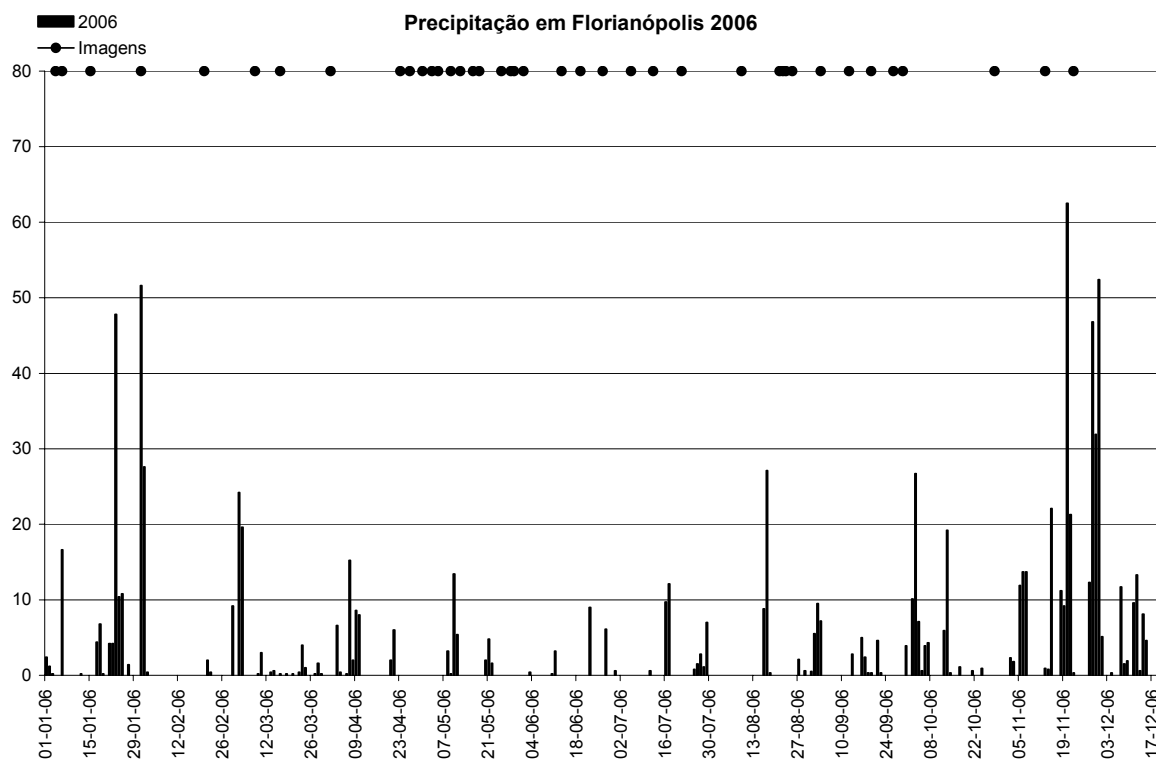








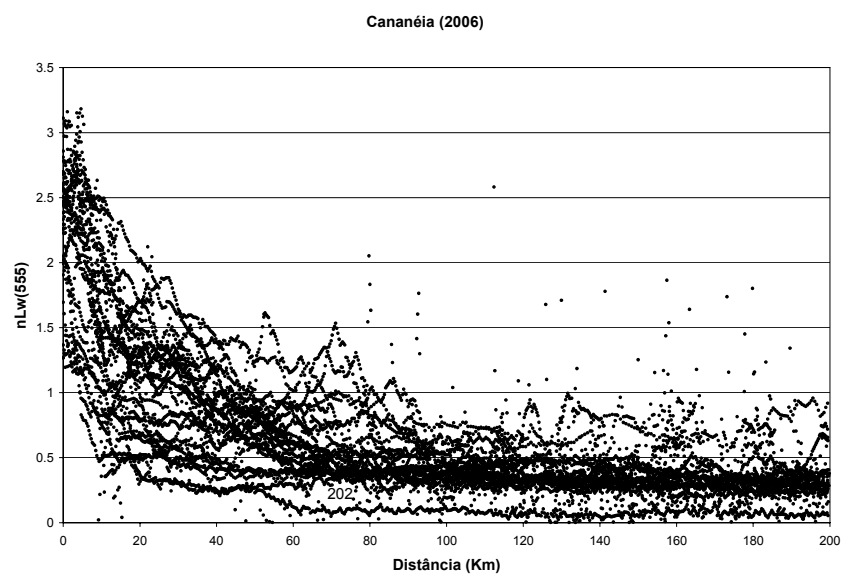
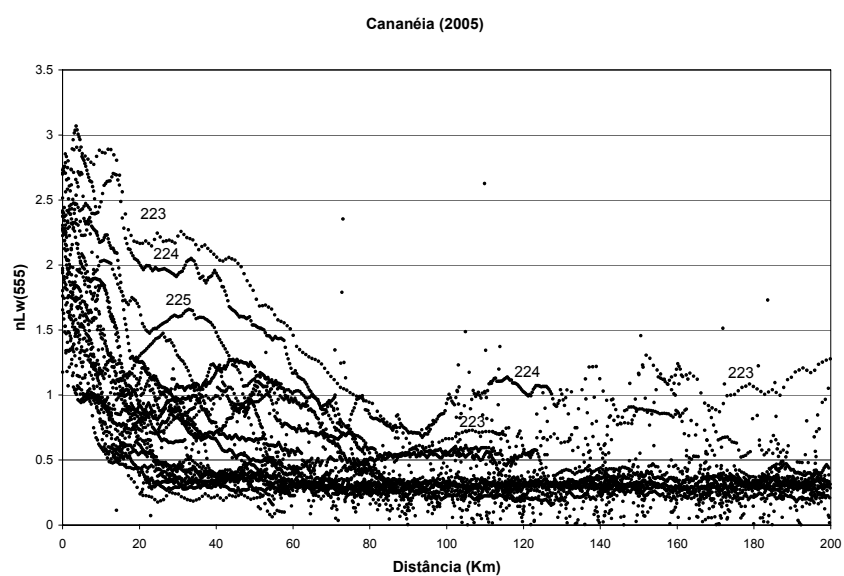
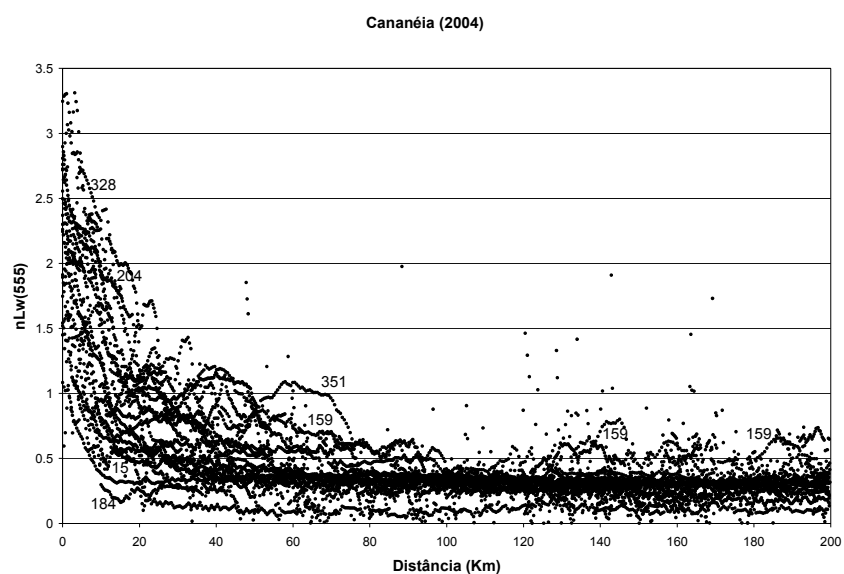


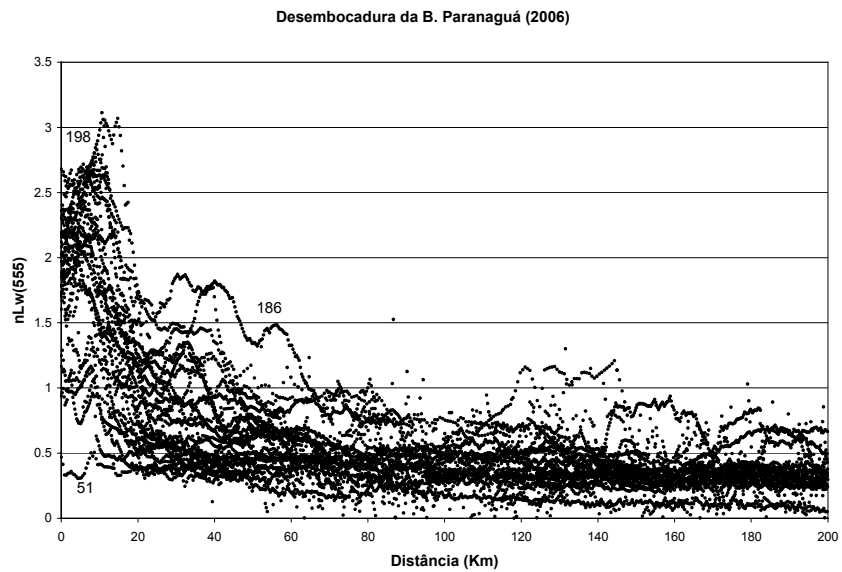
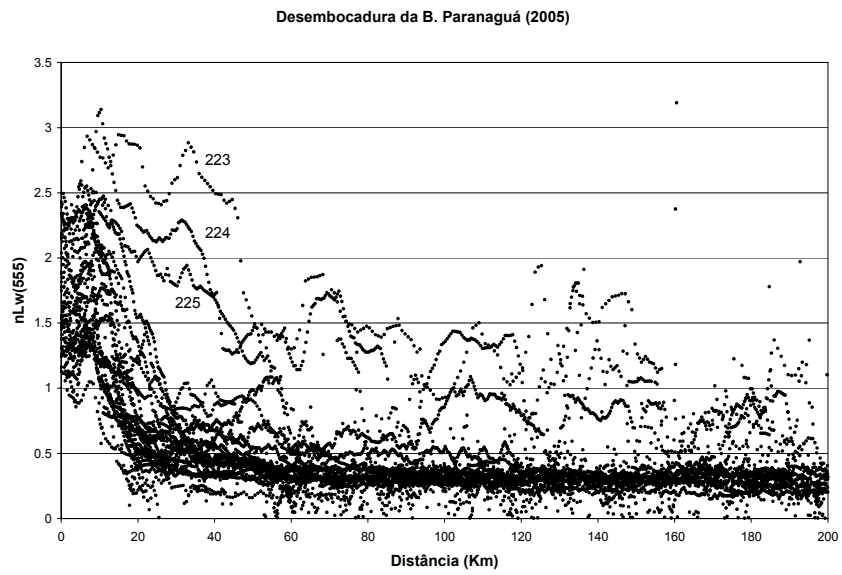
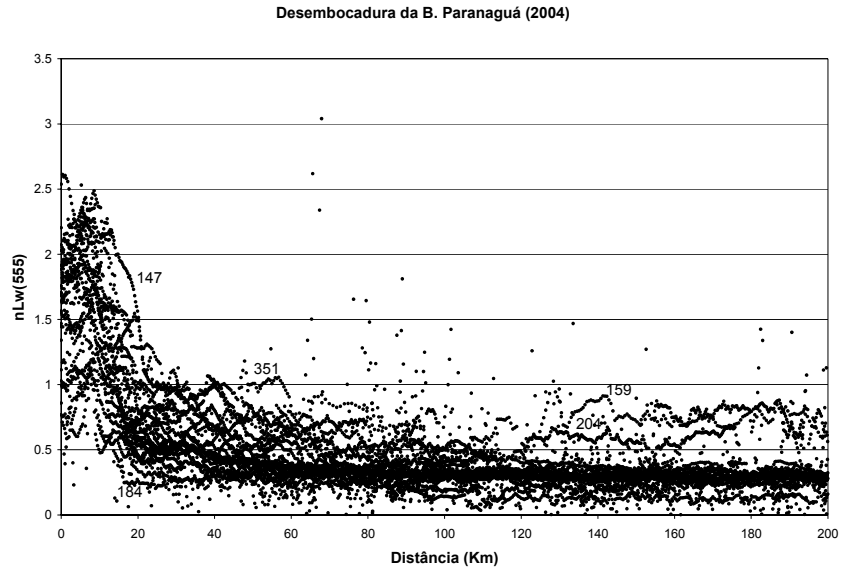


Volume total de chuvas (mm) registrado nas estações meteorológicas.

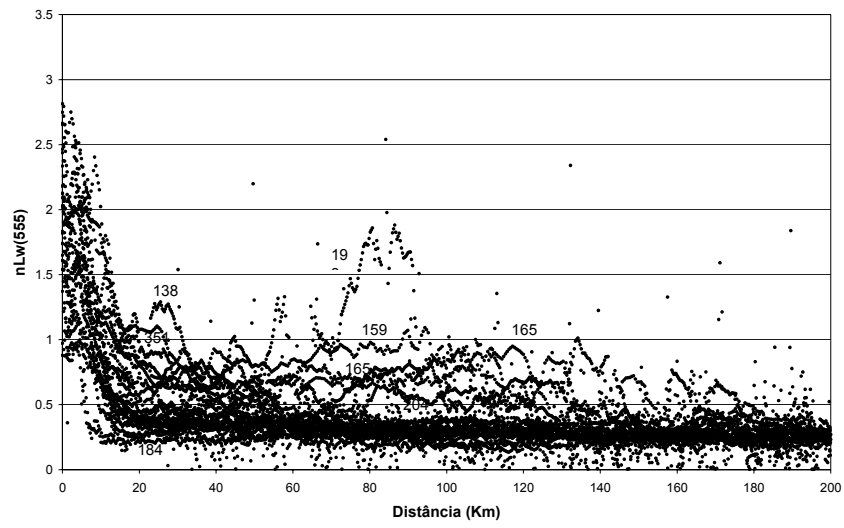
Estação	Soma 2004	dias (n)	Soma 2005	dias (n)	Soma 2005	dias (n)
Pontal do Sul	5272.024	366	4210.144	359	1732	364
São Francisco	1532.2	347	2456.9	365	518.4	142
Itajaí	1167.6	345	1119.8	360	805.7	353
Florianópolis	1165.2	366	1234	365	926.4	344
Arvoredo	1286.8	366	1369	326	790	272
Imbituba	498.9	181	861	362	202.5	358

ANEXO II. Distribuição de $nL_w(555)$ ao longo dos 200 km para os 7 transectos.

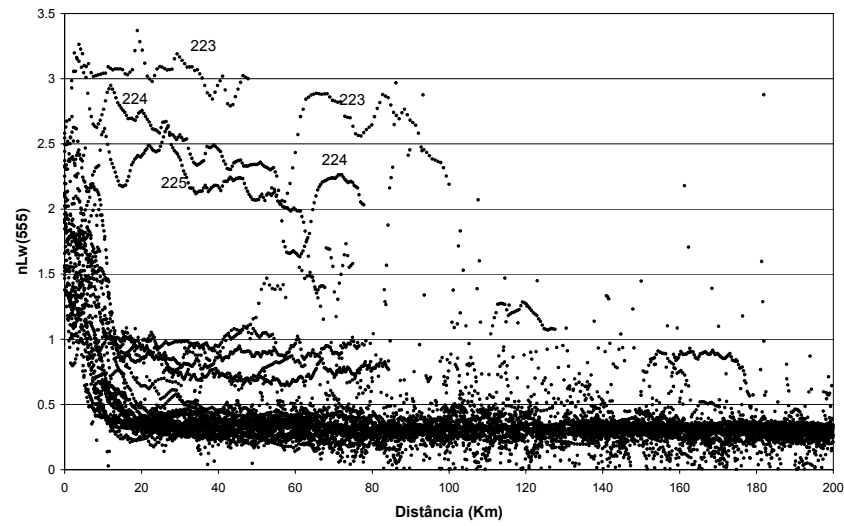




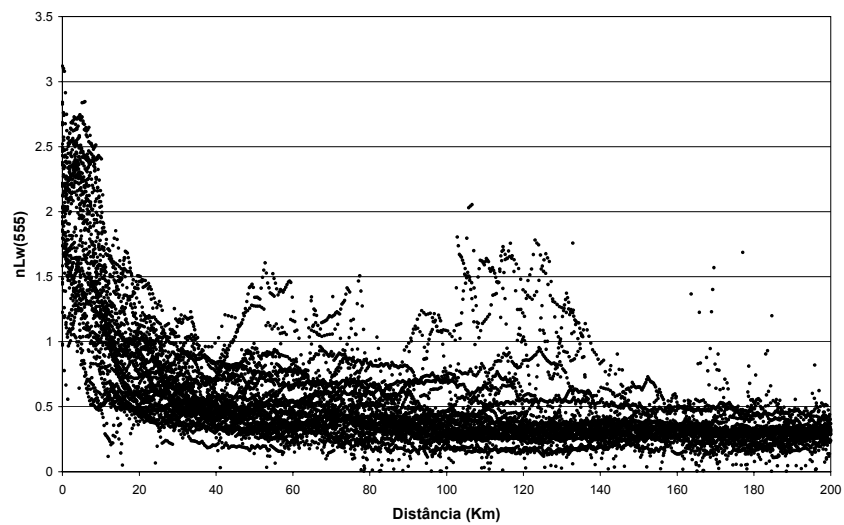
Desembocadura da B. São Francisco do Sul (2004)

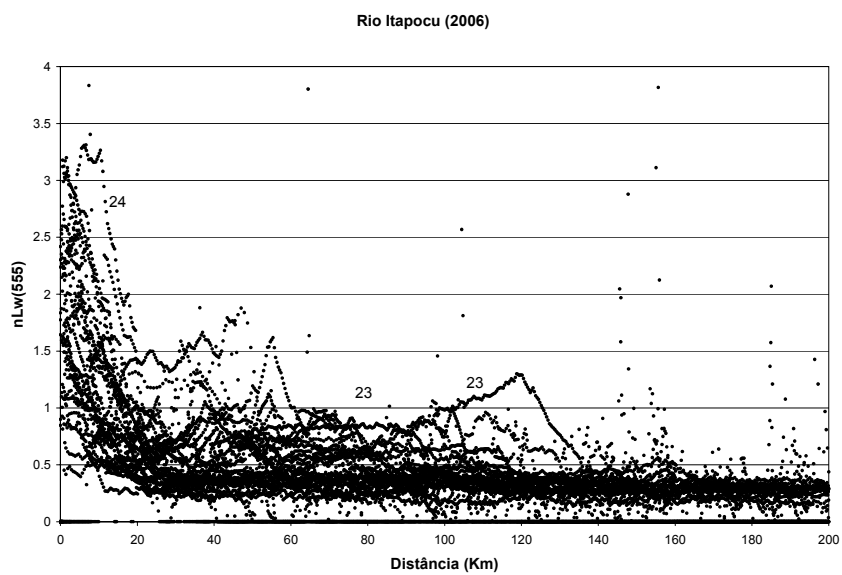
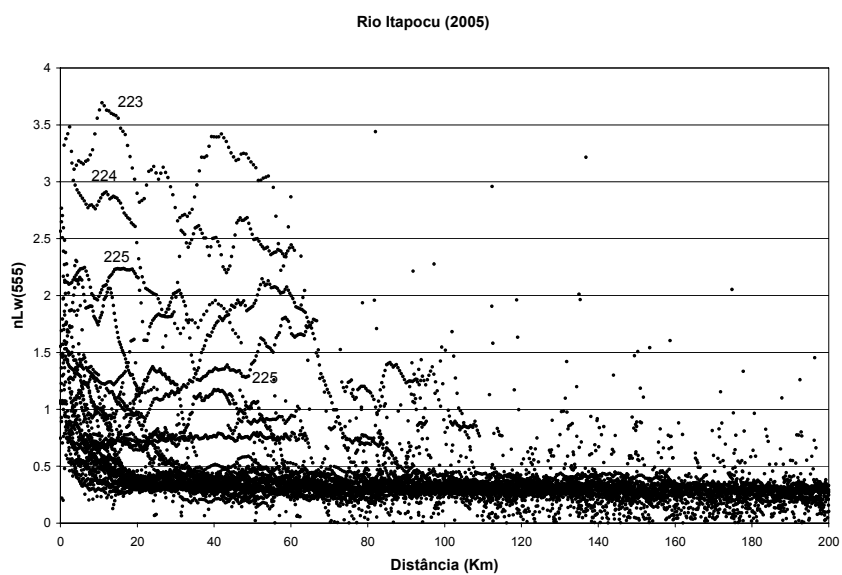
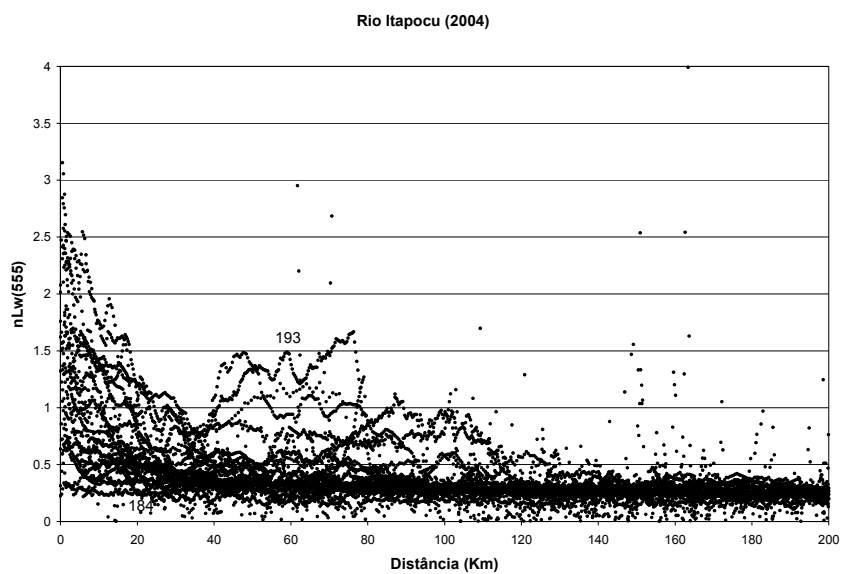


Desembocadura da B. São Francisco do Sul (2005)

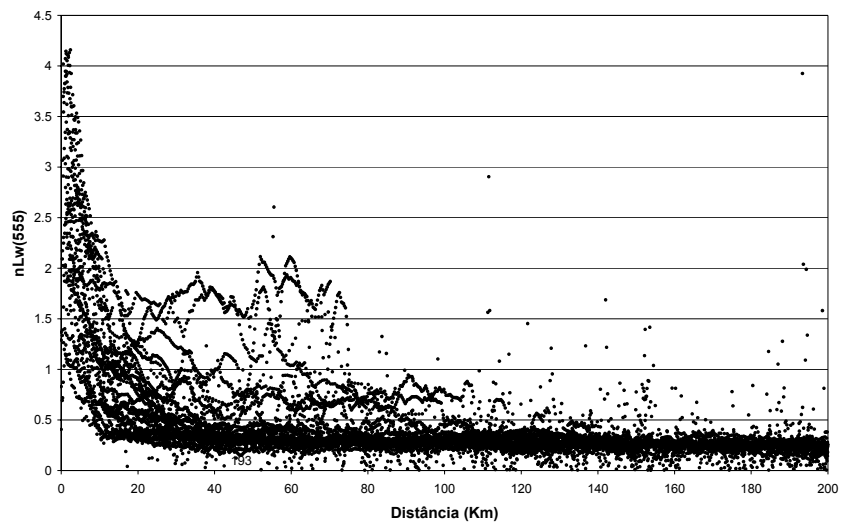


Desembocadura da B. São Francisco do Sul (2006)

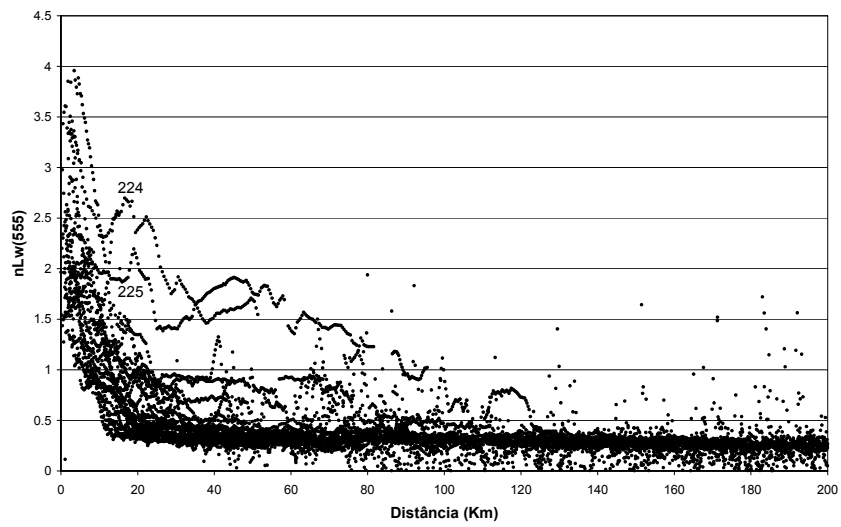


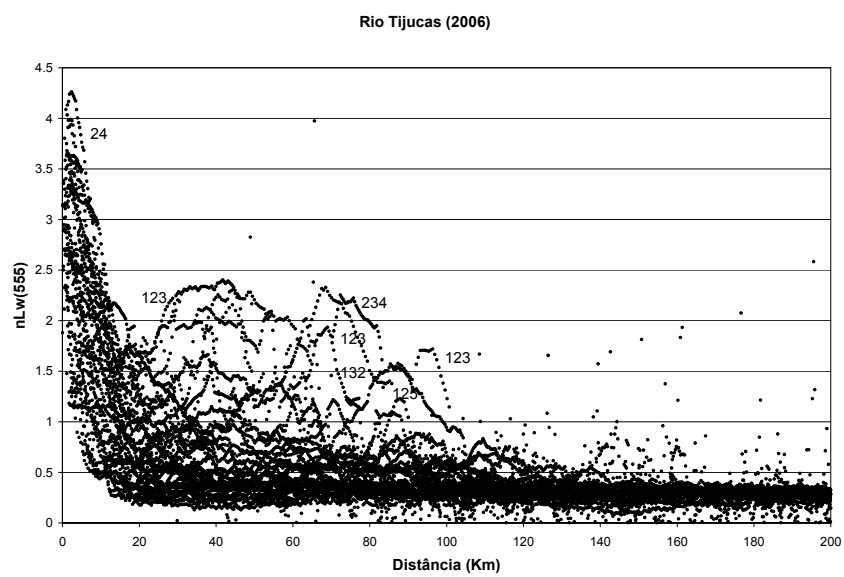
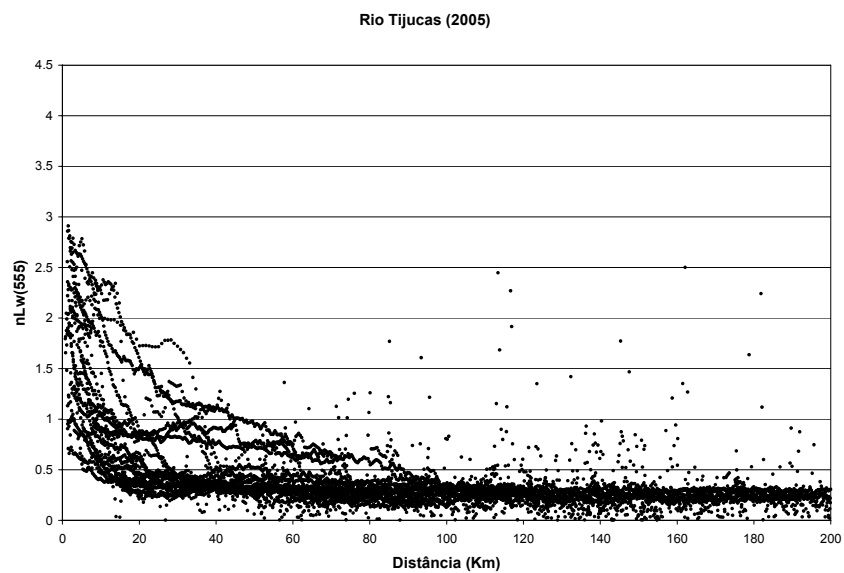
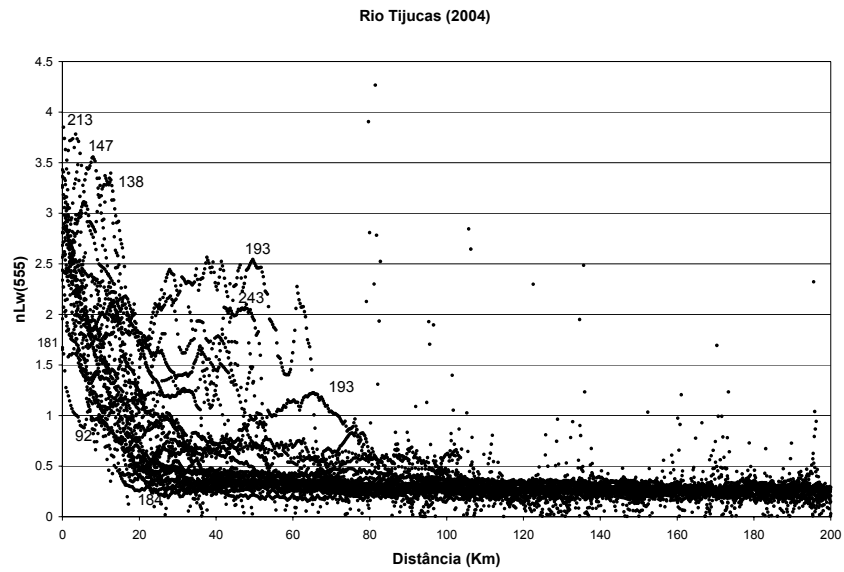


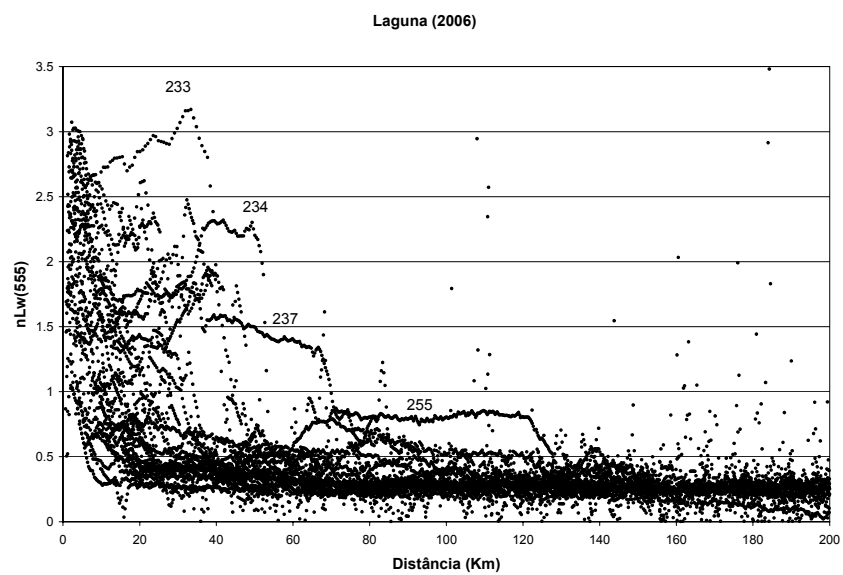
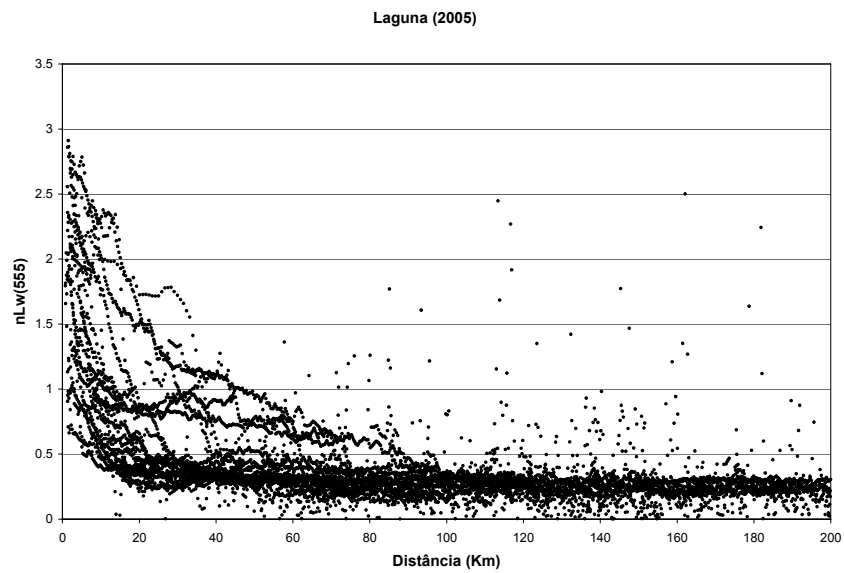
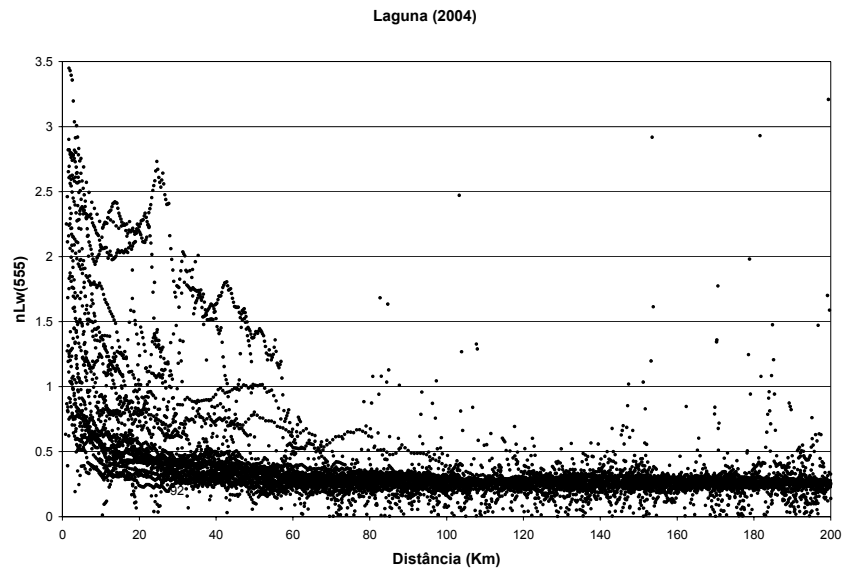
Rio Itajai (2004)



Rio Itajai (2005)







*"Come up to meet you, tell you I'm sorry
You don't know how lovely you are
I had to find you, tell you I need you
And tell you I set you apart
Tell me your secrets, and ask me your questions
Oh let's go back to the start
Running in circles, coming up tails
Heads on a silence apart*

*Nobody said it was easy
It's such a shame for us to part
Nobody said it was easy
No one ever said it would be this hard
Oh take me back to the start*

*I was just guessing at numbers and figures
Pulling the puzzles apart.
Questions of science, science and progress
Don't speak as loud as my heart.
So tell me you love me, come back and haunt me,
Oh, when I rush to the start
Running in circles, chasing in tails
coming back as we are*

*Nobody said it was easy
It's such a shame for us to part
Nobody said it was easy.
No one ever said it would be so hard
I'm going back to the start"*

The Scientist, Coldplay